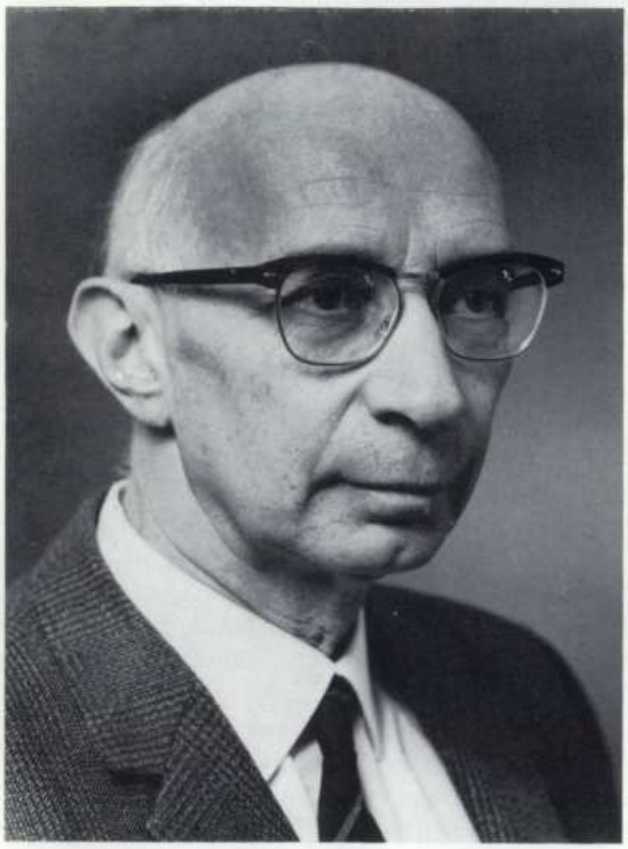
www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

PHILIPS TECHNISCH TIJDSCHRIFT

JAARGANG 31, 1970, no. 1



Op 13 februari heeft ir. S. Gradstein afscheid genomen als hoofdredacteur van het Philips Technisch Tijdschrift. Het nummer over grote versnellers (jaarg. 30, no. 11/12) was het laatste dat onder zijn leiding tot stand is gekomen. Ir. Gradstein heeft sedert september 1935 vrijwel ononderbroken voor het tijdschrift gewerkt en was na het vertrek van dr. Oosterhuis in 1951 hoofdredacteur.

Wie de oude jaargangen van het tijdschrift doorbladert vindt een aantal artikelen van Gradsteins hand, welke getuigen van zijn brede kennis en belangstelling, in het bijzonder ook voor historische problemen. Veel groter is het aantal artikelen die door hem werden bewerkt en waartoe hij veelal essentiële bijdragen leverde, ook al wordt zijn naam niet vermeld. In vele van de markante „editorials" die aan de artikelen voorafgaan, herkent men zijn hand.

Ir. Gradstein was een redacteur die zowel belangstelling had voor de kleinste details: typografische verzorging, illustratie, woordkeus — ik heb wel eens een lang gevecht met hem moeten leveren om een enkel woord waar ik prijs op stelde en dat hij minder gelukkig vond — als voor de grote lijnen, zoals nummers geheel gewijd aan één groep onderwerpen of één hoofdindustriegroep of één buitenlands laboratorium. Het reeds vermelde nummer over grote versnellingsmachines had zijn bijzondere liefde.

Ir. Gradstein maakte het auteurs en mederedacteuren niet gemakkelijk. Hij stelde hoge eisen wat betreft inhoud, logische bouw en juiste formulering, en was wat dat betreft weinig geneigd een compromis te aanvaarden. Het spreekt vanzelf dat niet iedereen zich altijd blijmoedig aan deze eisen heeft onderworpen, maar juist diegenen die er wel eens over hebben geklaagd, zullen toegeven dat zij er veel van hebben geleerd.

Het verheugt mij dat ir. Gradstein nog enige jaren op het laboratorium werkzaam zal blijven. De nieuwe hoofdredacteur en zijn medewerkers wens ik alle succes met hun werk, dat zij naar eigen inzicht en opvatting zullen uitvoeren. Daarbij zullen zij echter voortbouwen op de traditie waartoe ir. Gradstein zoveel heeft bijgedragen.

H. B. G. Casimir

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Een analogon-rekenmachine voor het nabootsen van eendimensionale antennesystemen

A. Meijer

Op verschillende gebieden van de zend- en ontvangtechniek, zoals radar, radioastronomie, telemetrie, ruimtevaart enz. maakt men geen gebruik van enkelvoudige antennes maar van antennesystemen. De mathematische behandeling van dergelijke systemen is zeer ingewikkeld, zelfs wanneer men zich beperkt tot lineaire systemen en de onderlinge beïnvloeding van de elementen buiten beschouwing laat. Er zijn twee methodes gevonden volgens welke men de configuratiefactoren van symmetrische, ongelijk gespatieerde lineaire antennesystemen langs elektronische weg kan nabootsen en zichtbaar maken, waardoor men snel een inzicht in het stralingsgedrag kan verkrijgen.

Inleiding

De belangstelling voor antennes is de laatste decennia sterk toegenomen. Een radarsysteem staat of valt immers met de kwaliteit van zijn antennes, zonder goede antennes zou de ruimtevaart niet in zijn huidige staat van ontwikkeling zijn en de radio-astronomie zou geen levenskansen gehad hebben zonder de speciaal voor dit doel ontworpen antennesystemen.

Voor vele toepassingen wenst men een antenne die slechts in één richting zendt of uit één richting ontvangt, een ideaal dat slechts bij benadering te verwezenlijken is. Het is gebleken dat de toepassing van het uit de optica bekende *interferentieprincipe* tot een oplossing van dit probleem kan leiden die, speciaal voor radar, enige aantrekkelijke aspecten heeft. Men kan dan b.v. de stralingsrichting van de antenne op elektronische wijze — dus snel — variëren, zodat men niet meer wordt belemmerd door de traagheid van mechanisch draaiende antennes. Verder is een snelle aanpassing mogelijk van de stralingseigenschappen aan de vaak veranderlijke omstandigheden waarin de radardoelen zich bevinden. Het interferentieprincipe leidt dus tot flexibeler radarantennes.

Daar een antenne waarvan de werking op interferentie berust uit meer dan één element bestaat, zullen wij in het vervolg van een *antennesysteem* spreken.

Exacte berekening van het stralingsgedrag van een antennesysteem is uiterst moeilijk, doordat het stralingsgedrag van één enkele antenne in de vrije ruimte anders is dan dat van dezelfde antenne als hij in een antennesysteem is opgenomen; de elementen beïnvloeden elkaars stralingsgedrag op zeer gecompliceerde wijze, o.a. afhankelijk van het type der elementen en van de geometrie van het systeem. Het probleem wordt aanzienlijk eenvoudiger als men deze onderlinge beïnvloeding verwaarloost, een verwaarlozing die meestal minder ingrijpende gevolgen heeft naarmate de elementen verder van elkaar verwijderd zijn. Het berekende stralingsgedrag wijkt dan meestal af van het werkelijke, maar men verkrijgt langs deze weg toch vaak gegevens die voor het ontwerpen van een antennesysteem van belang kunnen zijn.

Verwaarloost men de onderlinge beïnvloeding der elementen, dan mag men het antennesysteem beschouwen als een groep elementen die ieder een volledig bekend stralingsdiagram hebben. Dit stralingsdiagram wordt de *elementfactor* genoemd, en is anisotroop. Hebben alle elementen dezelfde elementfactor, dan kan men, naar wij hieronder zullen aantonen, het stralingsdiagram van een antennesysteem vinden door uit te gaan van een denkbeeldig systeem, bestaande uit *isotrope* elementen. Het stralingsdiagram daarvan wordt de *configuratiefactor* genoemd. Deze configuratiefactor is alleen afhankelijk van de voeding van de individuele elementen en van de geometrie van het systeem. Het stralingsdiagram van het beschouwde antennesysteem wordt dan gegeven door het produkt van de configuratiefactor en de elementfactor.

Wat de geometrie betreft, beperken wij ons in dit artikel tot systemen waarvan de elementen zich op een rechte lijn bevinden. Zij behoeven echter niet op gelijke

Ir. A. Meijer, medewerker van Philips' Natuurkundig Laboratorium, Eindhoven.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

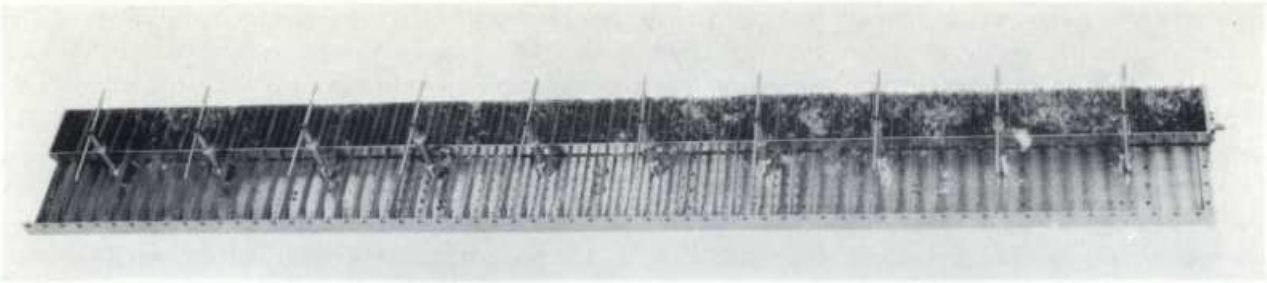


Foto N.V. Hollandse Signaalapparaten, Hengelo (O)

Fig. 1*a*. Een lineair, gelijk gespatieerd antennesysteem voor radardoeleinden.

onderlinge afstand te staan. Dergelijke *ongelijk gespatieerde lineaire antennesystemen* zijn de laatste jaren een steeds belangrijker plaats gaan innemen. Voor het eerst zijn ze toegepast in de radioastronomie, om met een kleiner aantal antennes dan bij gelijke spatiëring nodig zou zijn toch dezelfde stralingseigenschappen te kunnen hebben [1]. Ook voor radardoeleinden hebben ongelijk gespatieerde antennesystemen interessante eigenschappen. Enige praktische uitvoeringen van lineaire antennesystemen ziet men in *fig. 1a* en *1b*.

Zelfs wanneer men zich beperkt tot lineaire antennesystemen en de onderlinge wisselwerking der elementen verwaarloost, is de theoretische behandeling van ongelijk gespatieerde systemen zeer moeilijk en tot nog toe is er geen aanvaardbare oplossing gevonden. Andere methodes om iets te weten te komen over het verband tussen de parameters die een dergelijk systeem beschrijven en het stralingsgedrag ervan zijn dus zeer welkom.

Wij zullen hieronder laten zien dat de configuratiefactor van een ongelijk gespatieerd lineair antennesysteem op twee manieren elektronisch nagebootst kan worden; daarbij wordt gebruik gemaakt van twee verschillende analogieën: de *ruimte-tijd-analogie*, die de configuratiefactor afbeeldt als een tijdsverschijnsel, en de *ruimte-frequentie-analogie*, die de configuratiefactor afbeeldt als een frequentiespectrum.

De ruimte-tijd-analogie blijkt uitstekend geschikt te zijn voor het bestuderen van antennesystemen waarvan de stralingsrichting langs elektronische weg gevarieerd wordt. Dit is niet op eenvoudige wijze mogelijk met de ruimte-frequentie-analogie. Deze analogie biedt echter weer de gelegenheid ook de invloed van sommige elementfactoren na te bootsen.

Van deze nabootsingsmethodes is die op basis van de ruimte-frequentie-analogie gemakkelijk te realiseren met bestaande apparatuur. De ruimte-tijd-analo-

[1] G. W. Swenson Jr. en Y. T. Lo, IRE Trans. **AP-9**, 9, 1961.

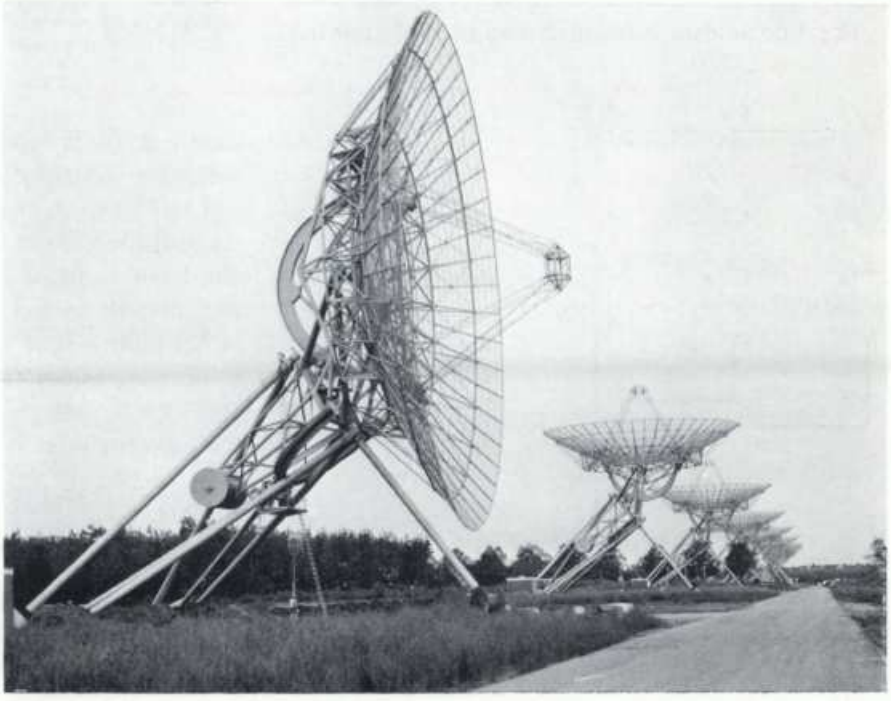


Fig. 1*b*. De radiotelescoop te Westerbork, die in 1969 in gebruik werd genomen. Het eerste antenne-element is, om de constructie beter zichtbaar te maken, in een afwijkende stand gedraaid.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

gie vergt evenwel een speciaal voor dit doel ontwerpen analogon-rekenmachine. Omdat er grote belangstelling bestaat voor antennesysteem met een op elektronische wijze te variëren stralingsrichting, hebben wij een dergelijke rekenmachine gebouwd.

Met beide opstellingen kan de invloed van een verandering in de voeding of de rangschikking van de antenne-elementen op de configuratiefactor onmiddellijk zichtbaar gemaakt worden op het scherm van een katodestraalbuis.

In het volgende zullen wij eerst de twee nabootsingsprincipes behandelen. Daarna volgt een beschrijving van de elektronische organisatie van de rekenmachine voor de nabootsing op basis van de ruimte-tijd-analogie. Ten slotte geven wij als illustratie enige configuratiefactoren die met behulp van de rekenmachine zijn verkregen, ter vergelijking aangevuld met enkele resultaten van de nabootsing volgens de ruimte-frequentie-analogie.

Theoretische grondslagen van de nabootsing

De configuratiefactor

We beschouwen een lineair antennesysteem waarvan alle antennes met behulp van vermogensdelers vanuit één bron worden gevoed. Verder is in iedere antennevoedingslijn nog een verzwakker en een fazedraaier opgenomen, zodat de voeding van elke antenne zowel in amplitude als in faze gemakkelijk te regelen is (*fig. 2*).

Van een dergelijk systeem gaan we nu het *verre veld* beschouwen, d.w.z. dat we ons op een dusdanig grote afstand van het antennesysteem opstellen dat dit als een puntbron opgevat kan worden. Dit houdt in dat de onderlinge afstandsverschillen van ons observatiepunt tot de antenne-elementen geen invloed meer hebben op de onderlinge veldsterkteverschillen van de op ons afkomende individuele golven. Wel hebben de afstandsverschillen nog invloed op de onderlinge fazeverschillen van die golven. Het zijn deze ruimtelijke fazeverschillen waarin de mogelijkheid tot verbetering van het stralingsgedrag ten opzichte van dat van een antenne die uit slechts één element bestaat.

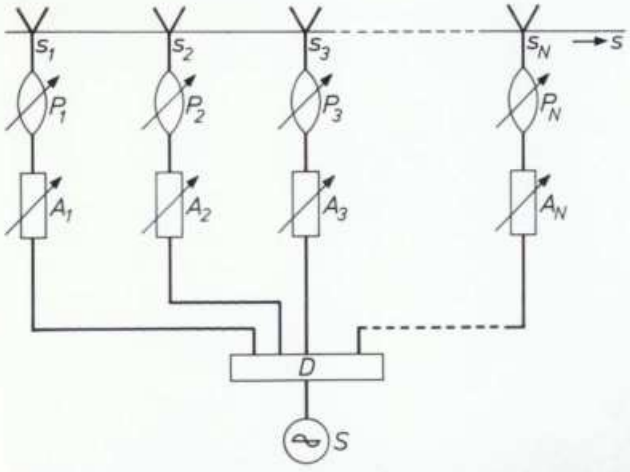


Fig. 2. Schema van een lineair antennesysteem. De elementen bevinden zich op een rechte lijn (plaatscoördinaat s) en worden via een vermogensdeler D gevoed door een gemeenschappelijke bron S. Elke voedingslijn bevat een fazedraaier P_i en een verzwakker A_i.

Uit het bovenstaande volgt dat het verre veld van een antenne-element als een scalaire grootheid beschouwd mag worden en dat het totale verre veld uit de velden van de antenne-elementen verkregen wordt door deze te sommeren, waarbij rekening gehouden moet worden met zowel de amplitude als de faze. Men krijgt dus voor het totale verre veld van een systeem bestaande uit N antenne-elementen de uitdrukking:

$$F_{\text{tot}}(\Theta,\varphi) = \sum_{i=1}^{N} F_i(\Theta,\varphi), \quad \ldots\ldots (1)$$

waarin $F_i(\Theta,\varphi)$ het verre veld is van het i-de element; de hoekcoördinaten Θ en φ bepalen de kijkrichting (zie *fig. 3*). Het veld $F_i(\Theta,\varphi)$ wordt bepaald door de

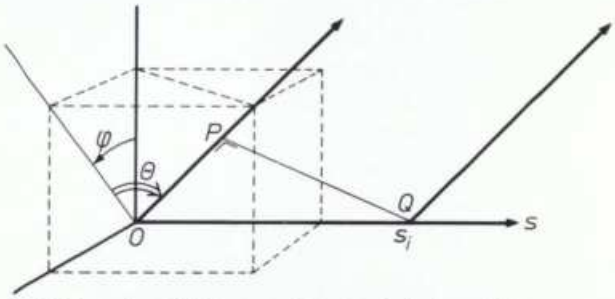


Fig. 3. Het ruimtelijk fazeverschil, uitgedrukt in radialen, van het signaal van een element in Q, ter plaatse $s = s_i$, en een referentiebron in de oorsprong, is 2π maal het aantal golflengten dat begrepen is op de projectie OP van de afstand OQ op de kijkrichting (hoekcoördinaten Θ en φ).

sterkte a_i en de faze ψ_i van het aan het i-de element toegevoerde signaal, door de elementfactor $e_i(\Theta,\varphi)$ van het i-de element, en door het ruimtelijk fazeverschil ten opzichte van een referentiebron. Veronderstelt men dat, zoals in fig. 3 is weergegeven, de referentiebron zich bevindt in het punt $s = 0$ en het i-de element in het punt $s = s_i$, dan is dit ruimtelijk fazeverschil gelijk aan $ks_i \sin\Theta$ rad, waarin k het golfgetal is ($k = 2\pi/\lambda$). Men vindt dus voor het verre veld van het i-de element:

$$F_i(\Theta,\varphi) = a_i \exp(j\psi_i)\, e_i(\Theta,\varphi) \exp(jks_i \sin\Theta), \quad . (2)$$

zodat het totale verre veld wordt:

$$F_{\text{tot}}(\Theta,\varphi) = \sum_{i=1}^{N} a_i \exp(j\psi_i)\, e_i(\Theta,\varphi) \exp(jks_i \sin\Theta). \quad \ldots (3)$$

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info
11/14/2023

Hebben alle elementen dezelfde elementfactor, dan kan men deze vóór het sommatieteken plaatsen en verg. (3) als volgt schrijven:

$$F_{tot}(\Theta,\varphi) = e(\Theta,\varphi).\ E(\sin\Theta), \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (4)$$

waarin

$$E(\sin\Theta) = \sum_{i=1}^{N} a_i \exp j(ks_i \sin\Theta + \psi_i). \quad . \quad (5)$$

Deze functie is de configuratiefactor.

Zoals men ziet, kan de configuratiefactor beschouwd worden als het verre veld van een rij antennes met een isotrope richtingskarakteristiek; hij is dus onafhankelijk van de aard der elementen.

Voor de antenne-ontwerper is nu de taak weggelegd om zodanige verzamelingen van amplitudes a_i, fazen ψ_i en posities s_i te vinden dat een „bruikbare" configuratiefactor wordt verkregen. Door het grote aantal variabelen is het geenszins zeker dat een min of meer toevallig gevonden configuratiefactor met „goede" eigenschappen ook de beste is. Bij de bespreking van de verkregen resultaten zal duidelijk worden wat men onder „bruikbaar" of „goed" moet verstaan.

De ruimte-tijd-analogie

In *fig. 4* is schematisch de wijze van nabootsing weergegeven die is gebaseerd op de *ruimte-tijd-analogie*. De generatoren G_i ($i = 1,2 \ldots N$) geven cosinusvormig met de tijd variërende spanningen af met frequenties f_i. De beginfazen ψ_i van deze signalen worden ingesteld met behulp van fazedraaiende netwerken. De amplitudes a_i van de signalen kunnen eveneens vrij worden gekozen. Het i-de signaal heeft dus de gedaante:

$$V_i(t) = a_i \cos(2\pi f_i t + \psi_i). \quad . \quad . \quad . \quad (6)$$

Alle N signalen van deze vorm worden toegevoerd aan een sommatieschakeling Σ. Voor het uitgangssignaal $V_R(t)$ van deze schakeling geldt dus:

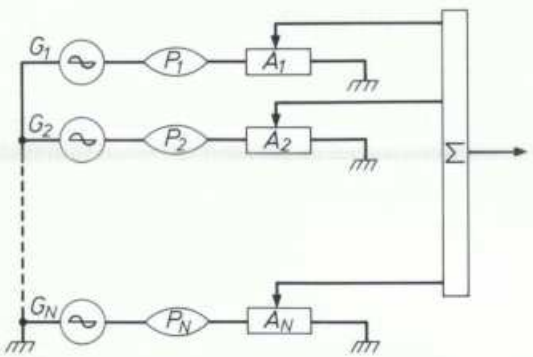


Fig. 4. Schema voor het nabootsen van configuratiefactoren volgens het principe van de ruimte-tijd-analogie. G_i generatoren voor het opwekken van cosinusvormige spanningen. P_i fazedraaiers. A_i verzwakkers. Σ sommatieschakeling.

$$V_R(t) = \sum_{i=1}^{N} V_i(t) = \sum_{i=1}^{N} a_i \cos(2\pi f_i t + \psi_i). \quad . \quad . \quad (7)$$

Voert men nu de volgende substituties uit:

$$t = T \sin\Theta, \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (8a)$$

en

$$f_i = s_i/\lambda T, \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (8b)$$

dan krijgt men voor (7) de uitdrukking:

$$V_R(T \sin\Theta) = \sum_{i=1}^{N} a_i \cos(ks_i \sin\Theta + \psi_i), \quad (9a)$$

die identiek is met het reële deel van (5). Worden er door de bronnen G_i *sinus*vormige spanningen gegenereerd, dan verkrijgt men het *imaginaire* deel van verg. (5):

$$V_I(T \sin\Theta) = \sum_{i=1}^{N} a_i \sin(ks_i \sin\Theta + \psi_i). \quad (9b)$$

Door de kwadraten van V_R en V_I op te tellen, verkrijgt men het kwadraat van de configuratiefactor, voorgesteld als functie van de tijd. Uit de substituties (verg. 8) blijkt dat de tijd equivalent gemaakt is met de ruimtevariabele sin Θ. Vandaar dat wij dit principe de ruimte-tijd-analogie noemen.

De op het eerste gezicht slechts voor het handhaven van de juiste dimensie ingevoerde constante T heeft ook nog een fysische betekenis: de functies $V_R(t)$ en $V_I(t)$ zijn slechts fysisch zinvol in het t-interval $[-T, T]$, daar een t-waarde buiten dit interval een waarde sin $\Theta > 1$ symboliseert, d.w.z. een imaginaire hoek. Daarom wordt het interval $[-T, T]$ ook wel het „zichtbare" gebied van t genoemd.

Op de zojuist beschreven wijze kan men elke configuratiefactor met behulp van twee stellen functiegeneratoren nabootsen. Omdat in de praktijk echter bijna uitsluitend antennesystemen voorkomen met een symmetrische rangschikking van de elementen rondom het centrum van het systeem, kan men volstaan met één stel generatoren. Wiskundig kan deze symmetrie worden beschreven door de voorwaarde:

$$s_i = -s_{N-i+1}.$$

Hiermee is tevens vastgelegd dat de oorsprong $s = 0$ van de s-coördinaat samenvalt met het centrum van het antennesysteem. Het systeem bestaat dan uit M symmetrisch om het centrum gerangschikte elementenparen, met eventueel een extra-element in het midden (nl. indien N oneven is, dus als $N = 2M + 1$). Voeden we bovendien elk elementenpaar met een signaal van dezelfde sterkte ($a_i = a_{N-i+1}$) maar met tegengestelde

Digitized in Heiloo the Netherlands
Not for sale!

www.freeservicemanuals.info
11/14/2023

faze ($\psi_i = -\psi_{N-i+1}$), dan draagt volgens verg. (5) elk zo'n elementenpaar bij tot de functie $E(\sin\Theta)$ met een reëel bedrag $2a_i \cos(ks_i \sin\Theta + \psi_i)$, waarin $i = 1,2 \ldots M$. De configuratiefactor wordt dan dus:

$$E(\sin\Theta) = a_0 + 2\sum_{i=1}^{M} a_i \cos(ks_i \sin\Theta + \psi_i). \quad (10)$$

zal dit verre veld eveneens symmetrisch zijn ten opzichte van $\sin\Theta = 0$; het is dus voldoende om dit veld te schetsen voor waarden van $\sin\Theta$ tussen 0 en 1.

In fig. 5*c* zijn de sterkte en de frequentie van elke cosinusgenerator weergegeven. De tijdsfunctie is in fig. 5*d* geschetst. De ruimte-tijd-analogie is nu hierin gelegen dat de figuren 5*a*,*b* equivalent zijn met de

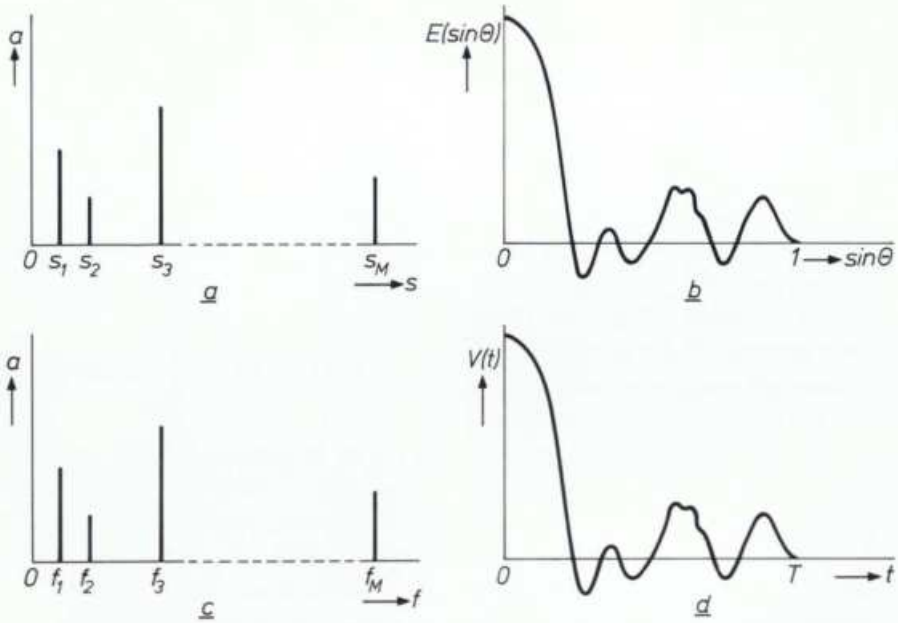


Fig. 5. De ruimte-tijd-analogie. *a*) Het rechter gedeelte van een symmetrisch, ongelijk gespatieerd lineair antennesysteem, schematisch weergegeven. Verticaal zijn de signaalsterkten a_i uitgezet, horizontaal de afstanden s_i van de antenne-elementen tot het centrum. *b*) De configuratiefactor $E(\sin\Theta)$, behorende bij het antennesysteem van (*a*). De functie is symmetrisch ten opzichte van $\sin\Theta = 0$. *c*) Amplitudes a_i en frequenties f_i van een stel cosinusgeneratoren waarmee het antennesysteem wordt nagebootst. *d*) De tijdsfunctie $V(t)$ waarvan (*c*) het frequentiespectrum is. Slechts voor $t < T$ heeft de gegenereerde functie fysische betekenis (Θ reëel). De ruimte-tijd-analogie bestaat hierin dat (*b*) en (*d*) met elkaar corresponderen wanneer ook (*a*) en (*c*) dit doen.

Hierin is a_0 de amplitude van het aan het centrale element toegevoerde signaal.

Vergelijkt men (10) met (9a), dan ziet men dat het in fig. 4 geschetste schema voldoende is om een tijdsfunctie te genereren die een adequate nabootsing is van de configuratiefactor van een ongelijk gespatieerd, doch symmetrisch om het centrum gerangschikt antennesysteem met per elementenpaar gelijke amplitudes en tegengestelde fazen. De term a_0 in verg. (10) kan op eenvoudige wijze gerealiseerd worden door toevoeging van een gelijkspanningsbron van de juiste sterkte.

De grafische voorstelling van het nabootsingsprincipe is geschetst in *fig. 5* voor het geval $\psi_i = 0$. In fig. 5*a* zijn de amplitudes en de posities van de elementen schematisch weergegeven. De configuratiefactor als functie van $\sin\Theta$ heeft dan b.v. de in fig. 5*b* geschetste gedaante. Daar het systeem symmetrisch is, figuren 5*c*,*d*. Verandert men van b.v. de tweede cosinusgenerator de frequentie, dan is de invloed hiervan op de tijdsfunctie van fig. 5*d* dezelfde als de invloed van de overeenkomstige positieverschuiving van het tweede elementenpaar op het verre veld van fig. 5*b*.

De ruimte-frequentie-analogie

Uit fig. 5 kan men concluderen dat de configuratie van het antennesysteem (fig. 5*a*) te beschouwen is als het *spectrum* van het verre veld (fig. 5*b*). Fig. 5*c* is immers niets anders dan het spectrum van de tijdsfunctie van fig. 5*d* (zie ook verg. 7). Nu zijn een tijdsfunctie en zijn spectrum elkaars fouriergetransformeerde. Dit betekent dat het verre veld van een antennesysteem beschreven kan worden als de fouriergetransformeerde van de systeemconfiguratie. Deze conclusie is de basis voor de *ruimte-frequentie-analogie*, waarvan het principe is weergegeven in *fig. 6*.

Digitized in Heiloo the Netherlands
Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

In fig. 6*c* is een tijdsfunctie geschetst bestaande uit een serie impulsen met sterkten a_i, die optreden op de momenten t_i. De breedte 2τ van de impulsen is klein in verhouding tot hun onderlinge afstand. Het frequentiespectrum $F(\omega)$ (fig. 6*d*) is de fouriergetransformeerde van deze tijdsfunctie. Fig. 6*a* is een nauwkeurige reproduktie van fig. 6*c* en stelt ons antennevorm te geven. Zo kan b.v. het verre veld van een groep $\frac{1}{2}\lambda$-dipolen gesymboliseerd worden door het frequentiespectrum van een impulsreeks bestaande uit een serie impulsen met de vorm van een halve cosinusfunctie (*fig. 7*).

In *fig. 8* ziet men het schema van de zojuist beschreven nabootsingsmethode. Telkens als de impuls-

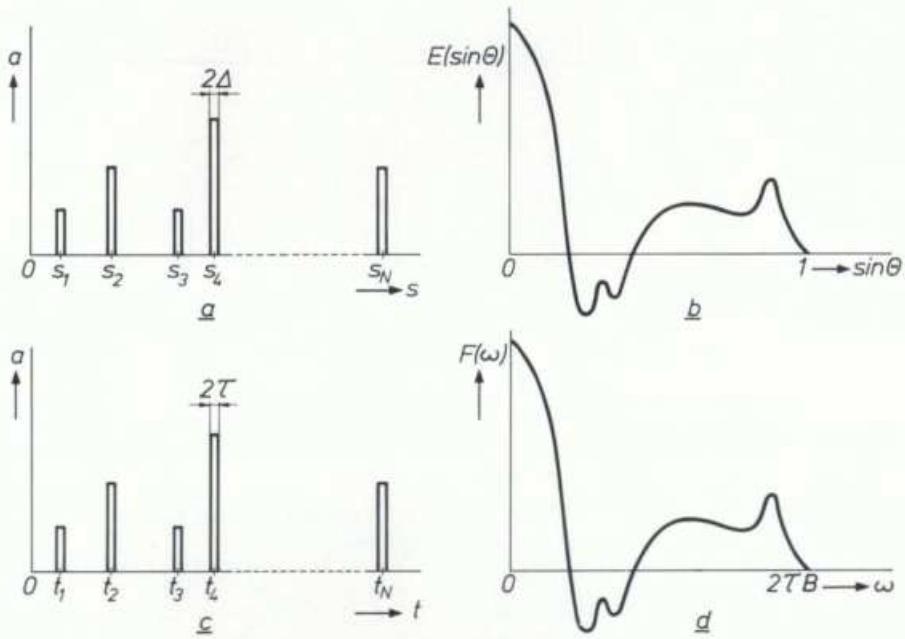


Fig. 6. De ruimte-frequentie-analogie. *a*) Een ongelijk gespatieerd lineair antennesysteem, schematisch. De elementen zijn lijnbronnen met lengte 2Δ. Verticaal zijn de signaalsterkten a_i uitgezet, horizontaal de afstanden s_i van de elementen tot de oorsprong, die links van het systeem gekozen is. *b*) De configuratiefactor van het antennesysteem als functie van sin Θ. Dit diagram is de fouriergetransformeerde van de in (*a*) geschetste functie. *c*) Een serie impulsen met breedte 2τ, waarmee het antennesysteem wordt nagebootst. Verticaal zijn de sterkten van de impulsen uitgezet, horizontaal de tijdstippen waarop de impulsen optreden. *d*) Frequentiespectrum van de tijdsfunctie van (*c*). Slechts voor $f < B$ heeft het spectrum fysische betekenis (Θ reëel). Corresponderen (*a*) en (*c*) met elkaar, dan is dit ook het geval met (*b*) en (*d*).

systeem voor, waarin signalen met sterkten a_i worden toegevoerd aan elementen met eindige lengte 2Δ die zich in de punten s_i bevinden; d.w.z. dat de elementen nu moeten worden opgevat als *lijnbronnen* in plaats van isotrope puntbronnen. Daar het verre veld van dit systeem, als functie van sin Θ (fig. 6*b*), de fouriergetransformeerde van deze configuratie is, moet dit verre veld precies eender verlopen als het frequentiespectrum in fig. 6*d*.

De ruimte-frequentie-analogie komt dus neer op het opwekken van een tijdssignaal dat een getrouwe afbeelding is van de te bestuderen systeemconfiguratie, die in dit geval niet symmetrisch behoeft te zijn. Het frequentiespectrum van dit signaal is dan de afbeelding van het verre veld van het antennesysteem.

De ruimte-frequentie-analogie biedt de mogelijkheid om in bepaalde gevallen de elementfactor direct in rekening te brengen door de impulsen een geschikte

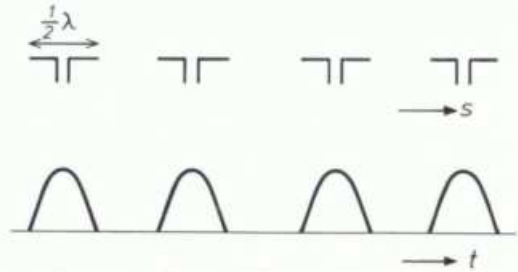


Fig. 7. Voorbeeld van de wijze waarop men bij de ruimte-frequentie-analogie de elementfactor kan verdisconteren in het verre veld door de impulssignalen een bepaalde vorm te geven. *Boven*: Antennesysteem bestaande uit vier $\frac{1}{2}\lambda$-dipolen. *Onder*: Reeks impulsen die de stroomverdeling in de elementen weergeven en die op basis van de ruimte-frequentie-analogie dit antennesysteem nabootsen.

generator *PG* een impuls afgeeft, genereren de impulsvormers PS_i een impuls van een bepaalde vorm. In een vertragend netwerk D_i wordt deze impuls t_i seconden vertraagd, en daarna eventueel verzwakt door de ver-

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info
11/14/2023

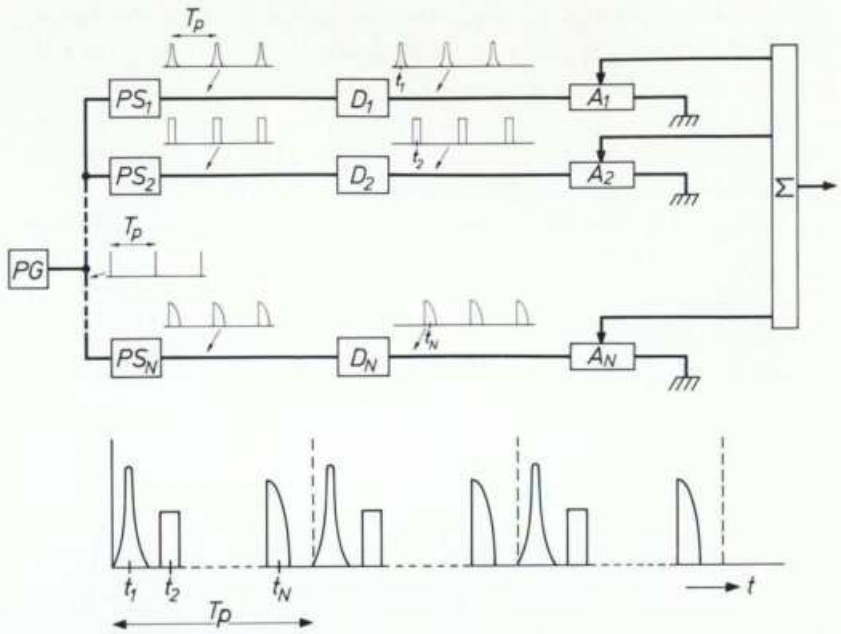


Fig. 8. Schema van het nabootsen van een configuratiefactor volgens het principe van de ruimte-frequentie-analogie. Een impulsgenerator PG levert elke T_p seconden een klokimpuls die de impulsvormers PS_i het commando geeft een impuls van bepaalde vorm te genereren. Deze impuls wordt door de schakeling D_i vertraagd (t_i seconden) en eventueel door de verzwakker A_i verzwakt tot sterkte a_i. Vervolgens worden de signalen door de sommatieschakeling Σ opgeteld. Het somsignaal wordt naar een spectrumanalysator gevoerd (niet getekend). Onder het schema is een voorbeeld van een somsignaal getekend.

zwakkers A_i. Vervolgens worden alle impulsen aan een sommatieschakeling Σ toegevoerd; het verkregen somsignaal gaat naar een spectrumanalysator.

Aangezien de spectrumanalysator een periodiek signaal aangeboden moet krijgen, moet de impulsreeks die het antennesysteem voorstelt periodiek herhaald worden. Dit gebeurt met een frequentie $2\pi/T_p$, waarin T_p de periode van de impulsreeks is. Dit betekent dat op het scherm van de spectrumanalysator een lijnenspectrum verschijnt, met lijnen bij die frequenties die harmonischen zijn van deze herhalingsfrequentie. De omhullende van dit lijnenspectrum stelt dan de configuratiefactor voor.

Uit de mathematische behandeling van dit nabootsingsprincipe (zie de kleine letters hieronder) blijkt dat de ruimte-frequentie-analogie alleen geschikt is voor het nabootsen van het verre veld van antennesystemen waarvan alle elementen in faze gevoed worden. Door extra-voorzieningen te treffen aan de apparatuur, kan de nabootsingsmethode echter ook bruikbaar gemaakt worden voor voeding met verschillende fazen; we zullen daar in dit artikel niet verder op ingaan.

Ook blijkt uit de berekening dat het niet noodzakelijk is het gehele frequentiespectrum af te beelden. Alleen frequenties tussen bepaalde waarden $-B$ en $+B$ (zie fig. 6) symboliseren reële Θ-waarden. Het frequentie-interval $[-B, B]$ is dus het zichtbare gebied van het frequentiespectrum, evenals bij de ruimte-tijd-analogie een tijdsinterval $[-T, T]$ het zichtbare gebied voorstelde.

De ruimte-frequentie-analogie kan als volgt mathematisch worden geverifieerd. Daar het signaal periodiek is met periode T_p (zie fig. 8), kan het in een fourierreeks uitgedrukt worden:

$$f(t) = \sum_{-\infty}^{+\infty} F_n \exp\left(-j\frac{2\pi nt}{T_p}\right). \quad \ldots\ldots (11)$$

De fouriercoëfficiënten F_n vindt men met behulp van de uitdrukking:

$$F_n = \frac{1}{T_p}\int_0^{T_p} f(t)\exp\left(j\frac{2\pi nt}{T_p}\right)dt. \quad \ldots\ldots (12)$$

Gezien de vorm van het signaal kan men deze integraal schrijven als de som van N integralen:

$$F_n = \sum_{i=1}^{N}\frac{1}{T_p}\int_{t_i-\tau}^{t_i+\tau} f_i(t)\exp\left(j\frac{2\pi nt}{T_p}\right)dt =$$

$$= \sum_{i=1}^{N}\frac{1}{T_p}a_i e_i\left(\frac{2\pi n}{T_p}, \tau\right)\exp\left(j\frac{2\pi nt_i}{T_p}\right), \quad \ldots (13)$$

waarin $$e_i\left(\frac{2\pi n}{T_p}, \tau\right) = \int_{-\tau}^{+\tau} f_i(t)\exp\left(j\frac{2\pi nt}{T_p}\right)dt$$

de elementfactor voorstelt van het i-de element.

Nu is het frequentiespectrum van het eenmalige tijdssignaal evenredig met

$$F(\omega) = \sum_{i=1}^{N} a_i\, e_i(\omega, \tau_i)\exp(j\omega t_i), \quad \ldots (14)$$

zodat de fouriercoëfficiënt F_n niets anders blijkt te zijn dan de bemonstering van het frequentiespectrum op de frequenties $2\pi n/T_p$.

Voor het vaststellen van de analogie van verg. (14) met de uitdrukking voor de configuratiefactor (verg. 5) nemen wij aan dat alle impulsen gelijk zijn. Dan is ook $e_i(\omega, \tau_i)$ voor elke impuls gelijk en kan deze factor vóór het sommatieteken geplaatst worden. Men krijgt dan:

$$F(\omega) = e(\omega,\tau).\, E(\omega),$$

Digitized in Heiloo the Netherlands
Not for sale!

www.freeservicemanuals.info

waarin $$E(\omega) = \sum_{i=1}^{N} a_i \exp(j\omega t_i). \quad \ldots\ldots (15)$$

Substitueren we hierin

$$\omega = 2\pi B \sin \Theta \quad \ldots\ldots (16a)$$

en

$$t_i = s_i/\lambda B, \quad \ldots\ldots (16b)$$

dan wordt verg. (15) voor het geval $\psi_i = 0$ — d.w.z. als de aan de elementen toegevoerde signalen dezelfde faze hebben — identiek met verg. (14).

De rekenmachine gebaseerd op de ruimte-tijd-analogie

Wij zullen thans wat dieper ingaan op de elektronische inrichting van de analogon-rekenmachine voor de ruimte-tijd-analogie [2]. Het principeschema van dit apparaat werd reeds in fig. 4 weergegeven.

Uit het voorgaande is gebleken dat de in fig. 4 voorkomende functiegeneratoren G_i *cosinus*generatoren met variabele frequentie moeten zijn. Als we ongelijk gespatieerde antennesystemen willen nabootsen, mogen de frequenties van deze generatoren geen harmonischen van elkaar zijn, zodat de gegenereerde tijdsfunctie niet periodiek is. Om in dit geval toch een stilstaand beeld op een oscilloscoop te verkrijgen, wordt het voor ons interessante deel van de functie periodiek herhaald. Dit wordt gedaan door alle generatoren slechts T seconden te laten werken, na $T + \Delta T$ opnieuw te starten, na $2T + \Delta T$ weer te stoppen, enz. De tijd T wordt zo gekozen dat alleen de rechterhelft van het zichtbare gebied beschreven wordt (tussen sin $\Theta = 0$ en sin $\Theta = 1$, zie fig. 5). De start- en stopsignalen worden ontleend aan de zaagtandgenerator van de oscilloscoop (*fig. 9*). De tijd ΔT is gelijk gemaakt aan de terugslagtijd van de oscilloscoop.

Op het moment dat de startimpuls verschijnt, moeten alle generatoren onmiddellijk beginnen een cosinusfunctie te genereren met de juiste faze, frequentie en amplitude. Inschakelverschijnselen mogen niet optreden en tevens is het vereist dat de gegenereerde functie niet vervormd wordt gedurende de periodeduur T, en dat zij goed reproduceerbaar is gedurende een zeer groot aantal zaagtandperiodes. Bovendien moet de functie op betrouwbare en snelle wijze gewijzigd kunnen worden.

Dit is gerealiseerd door de frequenties van de cosinusfuncties alle af te leiden uit een zelfde reeks impulsen van hoge frequentie, die gegenereerd wordt door een centrale impulsgenerator, de moederklok. Door middel van frequentiedelers worden uit deze reeks nieuwe impulsreeksen afgeleid met lagere frequenties, welke frequenties overeenkomen met de posities van de elementen van het te bestuderen antennesysteem. Deze impulsreeksen worden toegevoerd aan functiegeneratoren. Elke impuls die aan de ingang van een functiegenerator verschijnt, veroorzaakt, zoals hieronder nog nader zal worden besproken, aan de uitgang een zodanige spanningsverandering dat de opeenvolgende uitgangsspanningen stapsgewijs een cosinusfunctie beschrijven. Het is duidelijk dat de frequentie van de te genereren functie lager is dan die van de impulsreeks aan de ingang, en wel zoveel maal lager als het aantal stappen waarin de functie benaderd wordt. Voor dit aantal stappen hebben wij 24 gekozen, waarmee een gunstig compromis bereikt wordt tussen de tijd die nodig is voor het genereren van een volledige cosinusfunctie en de fijnheid van de benadering. De op deze wijze verkregen functie kan op elk gewenst moment zonder inschakelverschijnselen gestart en gestopt worden, en er treedt geen onderling frequentieverloop op, daar alle generatoren bestuurd worden vanuit één gemeenschappelijke impulsgenerator.

De beginfazen van de opgewekte cosinusfuncties worden op de volgende wijze ingesteld. Wij zorgen ervoor dat er tijdens de terugslag van de zaagtand-

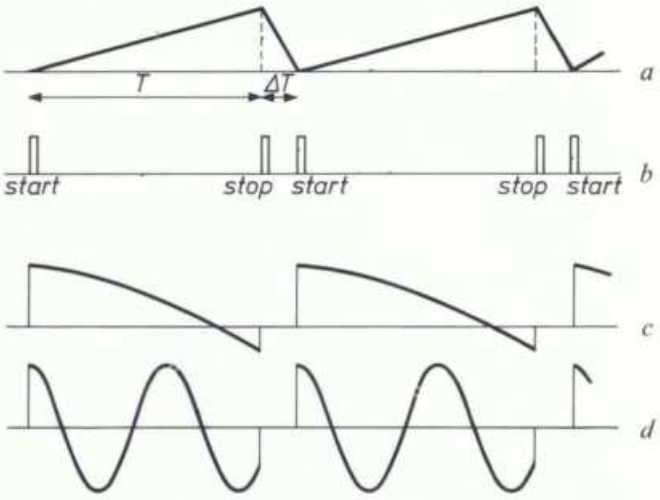


Fig. 9. Het periodiek maken van het door de cosinusgeneratoren opgewekte signaal geschiedt door het toevoeren van start- en stopsignalen die van de zaagtandspanning van de oscilloscoop zijn afgeleid. *a*) Zaagtandspanning. T is de schrijftijd van de oscilloscoop, ΔT de duur van de terugslag. *b*) Uit de zaagtand afgeleide start- en stopimpulsen. *c*) en *d*) Voorbeelden van in de periode 0-T gegenereerde cosinusfuncties met verschillende frequenties.

spanning eerst m klokimpulsen rechtstreeks naar de cosinusgenerator gaan, en pas daarna de van de frequentiedeler komende impulsreeks met een frequentie ν_i. De cosinusgenerator start dan met de waarde cos $2\pi m/p$ (p is het aantal stappen waarin de cosinusfunctie benaderd wordt) en er wordt dus een cosinus-

[2] Een belangrijke bijdrage tot de constructie van de analogonrekenmachine is geleverd door J. Hopstaken, destijds medewerker van dit laboratorium.

Digitized in Heiloo the Netherlands
Not for sale!

www.freeservicemanuals.info
11/14/2023

signaal opgewekt met een frequentie ν_i/p en een beginfaze $2\pi m/p$ rad. Andere in de analogon-rekentechniek bekende methodes die voor het genereren van cosinusfuncties kunnen worden toegepast, waren om verschillende redenen voor ons doel minder geschikt.

Een nader uitgewerkt schema van de rekenmachine ziet men in *fig. 10*. Het blok *M* (links) is de moederklok, waarvan het uitgangssignaal (frequentie ca. 100 kHz) naar de besturingsorganen CD_i gaat. Deze slechts geïnteresseerd is in de modulus van de configuratiefactor, gebeurt dit via een modulusvormer *MS*. Dit is een gelijkrichtschakeling die alle spanningen die beneden een zeker niveau liggen in polariteit (ten opzichte van dat niveau) omkeert, zodat het uitgangssignaal de modulus is van de som van de ingangssignalen (zie verg. 5), vermeerderd met een constant bedrag dat de signaalamplitude van het centrale antenne-element representeert. *St* is een schake-

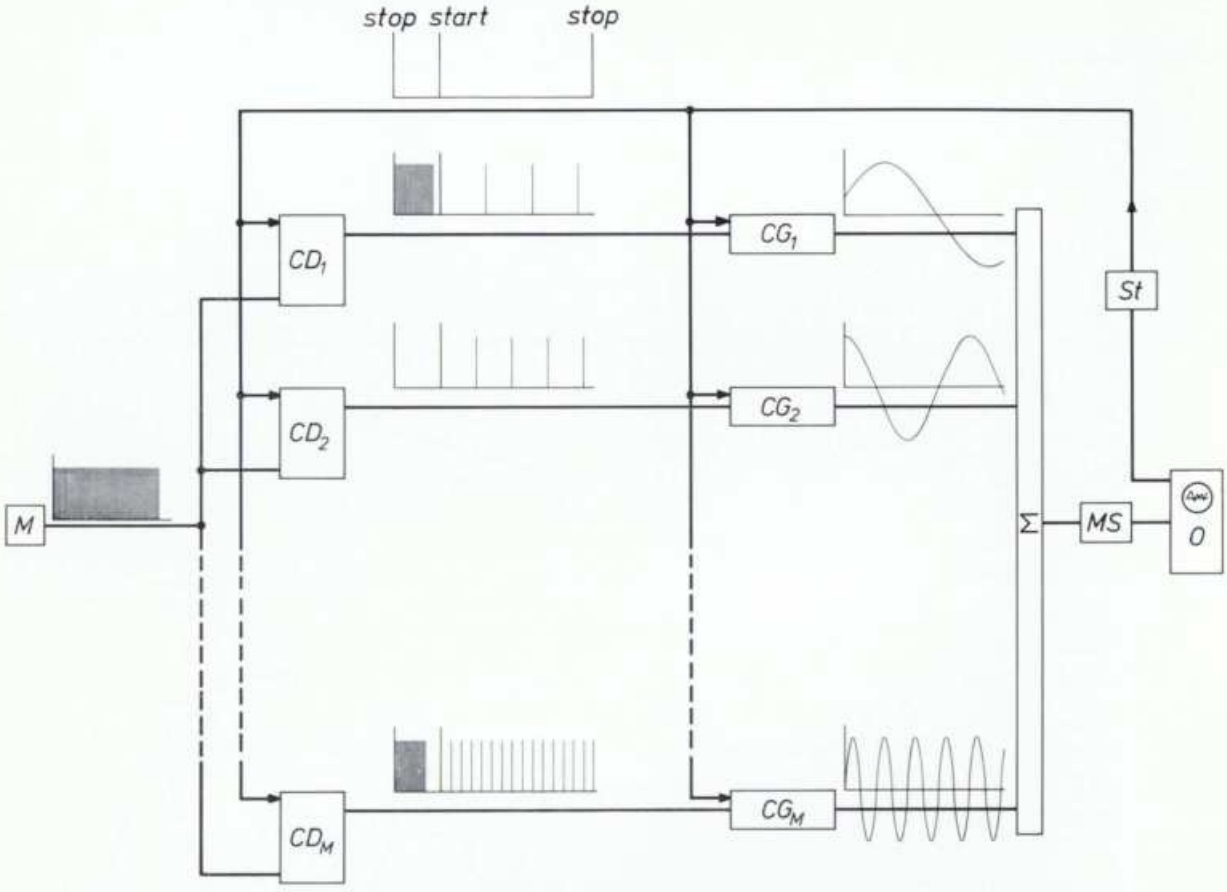


Fig. 10. Principeschema van de rekenmachine voor het berekenen van configuratiefactoren volgens de ruimte-tijd-analogie, met schematische aanduiding der diverse signalen. *M* moederklok. CD_i besturingsorganen. CG_i cosinusgeneratoren. *St* impulsgever voor de start- en stopsignalen voor de frequentiedelers en de cosinusgeneratoren. Σ sommatieschakeling, waarin de binnenkomende signalen eventueel eerst worden verzwakt. *MS* modulusvormer. *O* oscilloscoop.

besturingsorganen voorzien de cosinusgeneratoren CG_i op de juiste momenten van de gewenste impulsreeksen, zoals hierboven beschreven is. Eerst leveren zij een impulsreeks voor het instellen van de beginfazen van de cosinusgeneratoren en daarna nog slechts impulsreeksen met lagere frequenties, welke overeenkomen met de posities van de symmetrisch gerangschikte elementenparen. De cosinusgeneratoren CG_i transformeren de van de frequentiedelers komende impulsreeksen tot stapsgewijs benaderde cosinusfuncties. Door de sommatieschakeling Σ worden de signalen, na eventueel te zijn verzwakt, gesommeerd en aan de oscilloscoop *O* toegevoerd. Omdat men vaak ling die de start- en stopimpulsen voor de besturingsorganen afleidt uit de zaagtandspanning van de oscilloscoop. In *fig. 11* ziet men een foto van de analogonrekenmachine.

De inrichting van de besturingsorganen is geschetst in *fig. 12*. Het hart ervan is de decimale teller *C*, die uit een aantal decadetellers bestaat. Voor deze decadetellers hebben wij ringtellers gekozen [3]. De teller *C* heeft in het besturingsorgaan twee functies:

[3] C. Slofstra, Het toepassen van digitale bouwstenen in industriële apparatuur, Philips techn. T. **29**, 19-33, 1968.

[4] Wij gebruiken de gestandaardiseerde letteraanduiding voor de verschillende klemmen, zie b.v. het artikel van Slofstra [3] en fig. 13 van dit artikel.

Digitized in Heiloo the Netherlands
Not for sale!

www.freeservicemanuals.info

11/14/2023

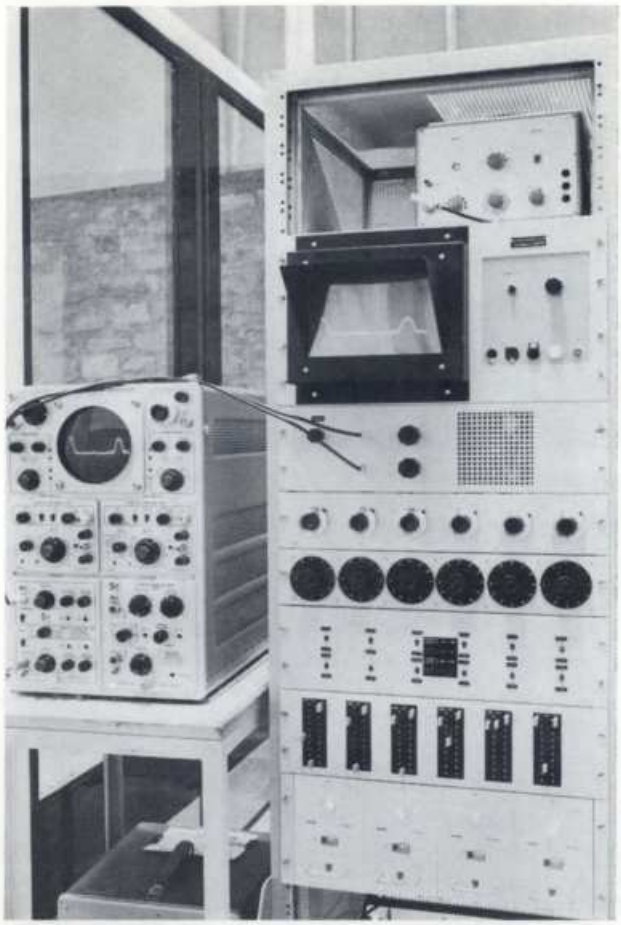


Fig. 11. De analogon-rekenmachine voor het berekenen van configuratiefactoren volgens de ruimte-tijd-analogie (rechts). De machine is geschikt voor het nabootsen van antennesystemen met maximaal 13 elementen. Behalve op het oscilloscoopscherm (links) kan de configuratiefactor ook zichtbaar gemaakt worden met de apparatuur van het bovenste paneel van de rekenmachine. Los daar bovenop staat de moederklok. Onder het afbeeldingspaneel ziet men achtereenvolgens de modulusvormer, de amplituderegelaars, twee panelen met fazekeuzeschakelaars en op het op één na onderste paneel zes frequentiekeuzeschakelaars.

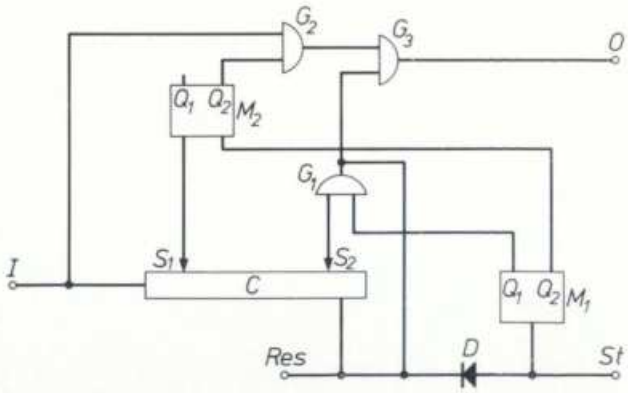


Fig. 12. Besturingsorgaan voor de cosinusgenerator. De toestand vóór het verschijnen van een stopimpuls is als volgt: de Q_2-klem [4] van de wipschakeling M_2 staat laag, dus de EN-poort G_2 is dicht. De Q_1-klem van de wipschakeling M_1 staat hoog, dus de EN-poort G_1 is open. Nu verschijnt de stopimpuls op *St*. Hierdoor slaat M_1 om: Q_1 wordt laag, dus G_1 gaat dicht. Tegelijkertijd wordt Q_2 van M_2 hoog, zodat G_2 open gaat. Het gevolg is dat de bij *I* binnenkomende moederklokimpulsen, die door de teller *C* geteld worden, nu met behulp van de OF-poort G_3 rechtstreeks aan de uitgangsklem *O* doorgegeven worden. Nadat de keuzeschakelaar S_1 *m* klokimpulsen afgeteld heeft, slaat M_2 om, waardoor G_2 dicht gaat en dus de passage van de klokimpulsen naar *O* geblokkeerd wordt. Deze toestand blijft bestaan totdat de startimpuls op *St* verschijnt. Hierdoor slaat M_1 om en G_1 gaat open. (G_2 blijft dicht, omdat M_2 niet op een negatieve flank reageert.) Tegelijkertijd is de teller *C* weer in zijn begintoestand gezet, daar de startimpuls ook op de terugstelklem *Res* van de teller komt via de diode *D*. Telkens na het passeren van een van tevoren ingesteld aantal impulsen, die door de keuzeschakelaar S_2 afgeteld worden, wordt de teller weer teruggesteld. (De diode *D* verhindert dat deze terugstelimpuls M_1 laat omslaan.) Op deze wijze verkrijgen we aan de uitgangsklem *O* een reeks impulsen van de gewenste frequentie. Nadat de volgende stopimpuls op *St* verschenen is, begint de beschreven cyclus opnieuw.

hij fungeert als frequentiedeler en hij telt het aantal klokimpulsen *m* af dat overeenkomt met de verlangde beginfaze van de cosinusfunctie.

Als cosinusgenerator is een combinatie van een schuifregister [3] en een weerstandsnetwerk gebruikt. Het principe ervan is geschetst in *fig. 13*. Het schuifregister is een geheel van wipschakelingen dat zodanig is ingericht dat steeds slechts de Q_1-klem van één wipschakeling een hoge spanning voert. Deze spanning verplaatst zich van de ene wipschakeling naar de volgende, op commando van het impulssignaal op de trekkeringang *T*. De uitgangsspanning van elke wipschakeling wordt via een diode naar het weerstandsnetwerk gevoerd. De in iedere situatie aan de uitgang van de generator verschijnende spanning V_0 is gelijk aan een fractie van deze spanning die bepaald wordt door R_i en R_0. De waarden van de weerstanden R_i zijn zo gekozen dat de uitgangsspanning stapsgewijs een cosinusfunctie benadert.

De werkelijke schakeling is iets gecompliceerder dan die van fig. 13. Hij bevat slechts 7 wipschakelingen

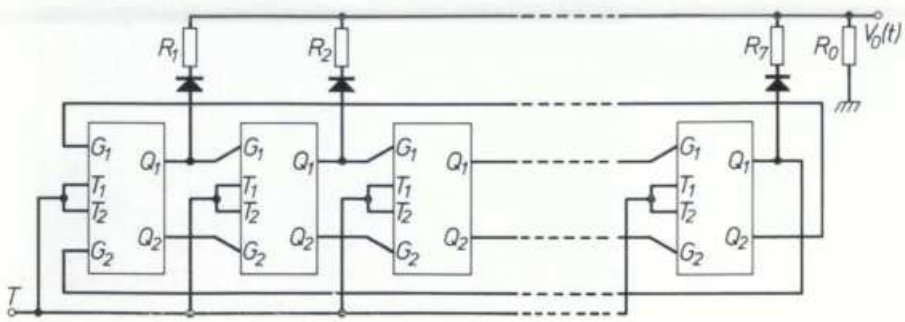


Fig. 13. Vereenvoudigd schakelingsschema van de cosinusgenerator. Alle wipschakelingen behalve één, b.v. de *i*-de, staan op een laag niveau (Q_1-klem op 0 volt). De Q_1-klem van de *i*-de wipschakeling staat op hoog (negatief) niveau (−6 volt), zodat alleen de spanningsdeler bestaande uit R_i en R_0 werkzaam is. $V_0(t)$ is op dit moment dus gelijk aan $-6R_0/(R_0 + R_i)$ volt.

Digitized in Heiloo the Netherlands
Not for sale!

www.freeservicemanuals.info

11/14/2023

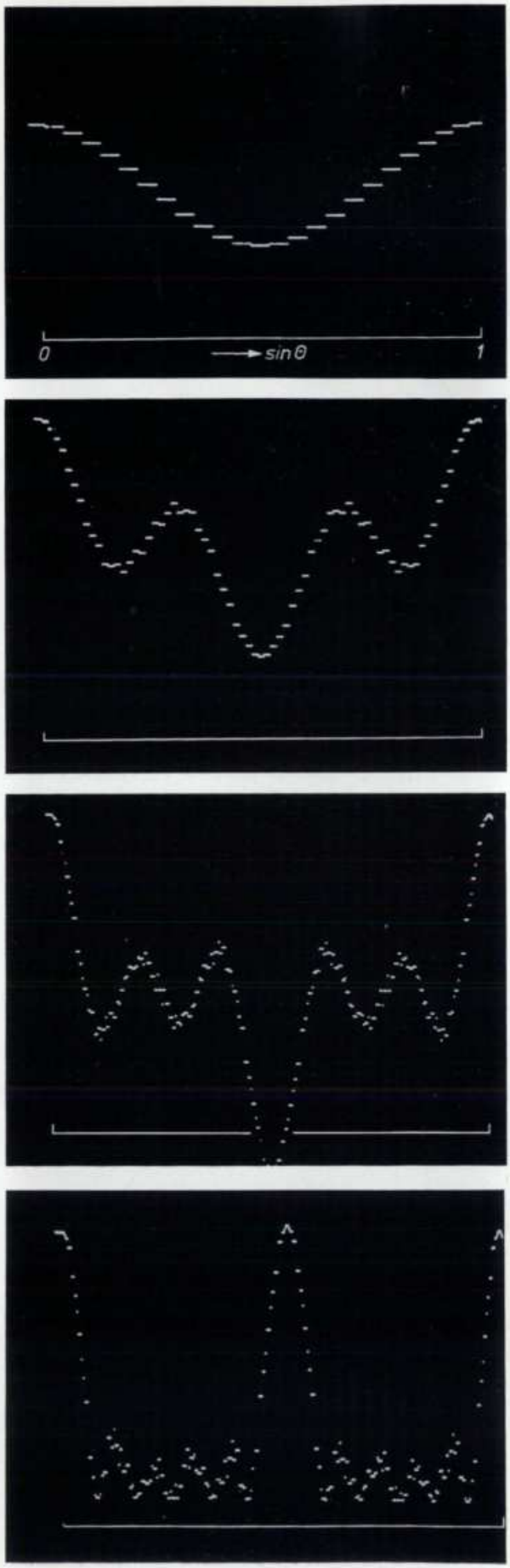


Fig. 14. Stralingsdiagram (ruimte-tijd-analogie) van drie antennesystemen waarvan de elementen gelijk zijn en een onderlinge afstand 2λ hebben. *a*) Diagram van een systeem met twee elementen. *b*) Diagram van een systeem met vier elementen. *c*) Diagram van een systeem met zes elementen. *d*) Hetzelfde systeem als in (*c*) maar nu is de modulus van het signaal uitgezet.

maar is toch in staat de cosinusfunctie te benaderen in 24 stappen. Dit is bereikt door toepassing van een tweerichtingsschuifregister en door ook gebruik te maken van de Q_2-klemmen van de wipschakelingen. Op de details hiervan zullen we niet ingaan.

Enige stralingsdiagrammen, verkregen met behulp van de twee nabootsingsmethodes

In dit hoofdstuk geven we als voorbeeld enige met de hierboven beschreven rekenmachine verkregen stralingsdiagrammen en, ter vergelijking, ook enige diagrammen verkregen met een opstelling die werkt volgens de ruimte-frequentie-analogie. Het betreft hier niet de nabootsing van het stralingsdiagram van voor een bepaald doel ontworpen antennesystemen, maar van configuraties die in de eerste plaats gekozen zijn wegens hun illustratieve waarde.

In *fig. 14* ziet men het met de rekenmachine verkregen stralingsdiagram van drie antennesystemen, bestaande uit resp. twee, vier en zes met gelijke amplitude en in faze gevoede elementen, alle met een onderlinge afstand van 2λ.

In fig. 14*a* ziet men het uitgangssignaal van de sommatieschakeling uitgezet tegen sin Θ, voor het systeem bestaande uit twee elementen. Dit signaal wordt tot stand gebracht door een cosinusgenerator met een frequentie f_0. Daar de afstand der elementen 2λ bedraagt, is er één gehele periode van de cosinusfunctie gegenereerd (vgl. formule 8b). Duidelijk is te zien dat de cosinusfunctie is benaderd in 24 stappen per periode. In fig. 14*b* ziet men hoe het stralingsdiagram verandert wanneer men overgaat van twee op vier elementen. Deze verandering vereist dat er in de rekenmachine nog een tweede cosinusgenerator in werking wordt gesteld, die een signaal met frequentie $3f_0$ aan de sommatieschakeling toevoert. Fig. 14*c* geeft het overeenkomstige diagram van het antennesysteem met zes elementen weer. In fig. 14*d* ziet men voor het antennesysteem van fig. 14*c* de meer gebruikelijke presentatie: hier is het uitgangssignaal van de modulusvormer uitgezet tegen sin Θ.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info

11/14/2023

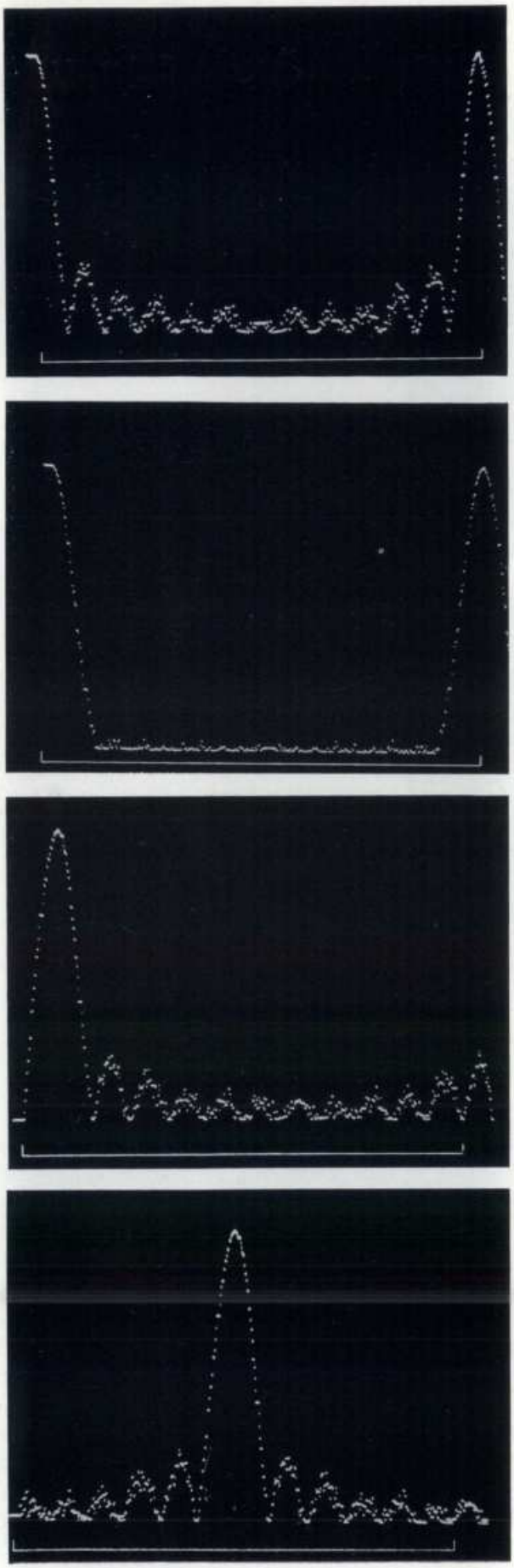


Fig. 15. Stralingsdiagram (ruimte-tijd-analogie) van een gelijk gespatieerd lineair antennesysteem met 13 elementen met een onderlinge afstand van één golflengte. *a*) Alle elementen worden in faze gevoed met signalen van gelijke sterkte. *b*) De elementen worden gevoed met signalen van verschillende sterkte; de zijlussen zijn nu lager. *c*) De signalen waarmee de elementen gevoed worden zijn even sterk; de faze is bij ieder element echter 27° gedraaid ten opzichte van die van zijn voorganger. *d*) De faze van ieder element is 162° gedraaid ten opzichte van die van zijn voorganger.

In *fig. 15a* is een soortgelijk stralingsdiagram te zien, nu echter van een systeem met 13 symmetrisch gerangschikte elementen op onderlinge afstanden van één golflengte. Fig. 15*b* laat zien dat het bij zo'n antennesysteem mogelijk is het niveau van de zijlussen zeer laag te maken. Dit diagram is verkregen door de elementen te voeden met signalen van ongelijke sterkte.

De voor de elementen gekozen signaalsterkten a_i zijn ontleend aan de oplossing die Taylor [5] gegeven heeft voor een lijnbron. Voor een zijlussenniveau van −35 dB geeft hij de in *fig. 16* weergegeven kromme voor de relatieve signaalsterkte $f(s)$ als functie van de plaats op de lijn. De waarden a_i die we gekozen hebben zijn evenredig met de ordinaatwaarden van $f(s)$ van de rechter antenne-elementen, op de plaatsen $s = n\lambda$ $(n = 0 \cdot 6)$.

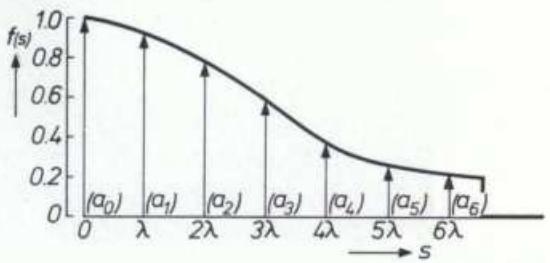


Fig. 16. De signaalsterkte $f(s)$ als functie van de plaats op een lijnbron, waaraan voldaan moet worden voor het bereiken van een zijlussenniveau van −35 dB.

De in de figuren 15*c* en 15*d* weergegeven diagrammen laten zien hoe de stralingsrichting van een antennesysteem gevarieerd kan worden door middel van de fazen der aan de elementen toegevoerde signalen. Fig. 15*c* geldt voor het geval waarbij, van het ene naar het andere uiteinde gerekend, de voeding van elk der 13 elementen 27° in faze gedraaid is ten opzichte van die van zijn voorganger. In fig. 15*d* is dit onderlinge fazeverschil 162°. We zien dat het gehele diagram intact blijft; alleen de hoofdbundel is verschoven. Dit betekent in feite dat de richtingskarakteristiek in zijn geheel ten opzichte van het antennesysteem gedraaid is. Zoals in de inleiding reeds werd opgemerkt, is dit een zeer aantrekkelijk aspect voor radar.

[5] T. T. Taylor, IRE Trans. **AP-3,** 16, 1955.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info

11/14/2023

In *fig. 17* en *18* wordt getoond wat te bereiken is met een variatie van de posities van met gelijke sterkte en in faze stralende antenne-elementen. Worden de elementen, zoals bij een gelijk-gespatieerd antennegebaseerd op de ruimte-frequentie-analogie.

Fig. 19a toont het stralingsdiagram van een gelijk gespatieerd antennesysteem dat uit zeven lijnelementen bestaat die $0{,}1\lambda$ lang zijn en op een onderlinge

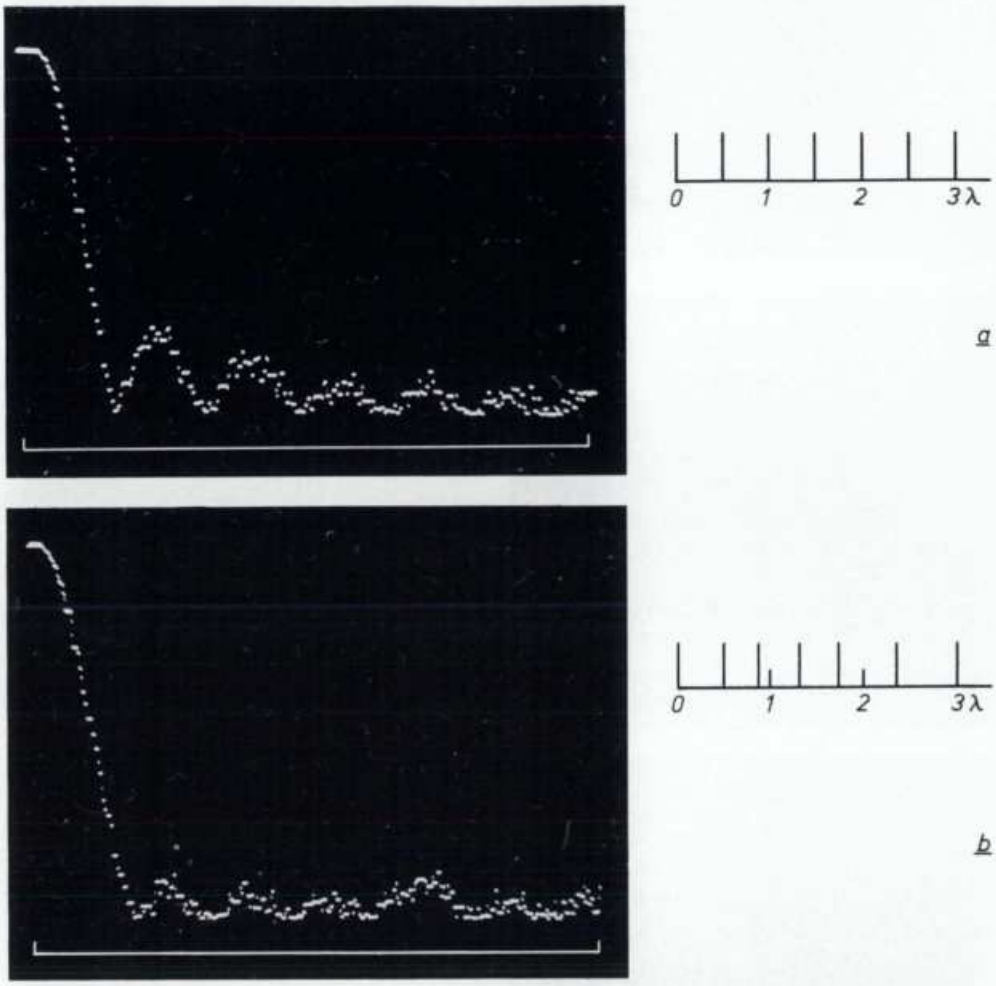


Fig. 17. Verlaging van het zijlussenniveau door de onderlinge afstand der elementen ongelijk te maken. De elementen worden met dezelfde sterkte en in faze gevoed. *a*) Stralingsdiagram van een antennesysteem met 13 elementen, alle op een onderlinge afstand van $\frac{1}{2}\lambda$. *b*) Hetzelfde systeem na verandering van de onderlinge afstand (zie het ingetekende positieschema).

systeem vaak gebeurt, op een onderlinge afstand $\frac{1}{2}\lambda$ geplaatst, dan vallen de maxima van hogere orde buiten het zichtbare gebied, terwijl het zijlussenniveau met toenemende Θ afneemt. Fig. 17*a* toont een stralingsdiagram voor een dergelijk antennesysteem met 13 elementen. Door het systeem ongelijk te spatiëren, kan een verlaging van het zijlussenniveau bereikt worden van —13 dB tot —20 dB (zie fig. 17*b*).

Fig. 18 laat zien hoe men door het kiezen van een geschikte rangschikking van de elementen maxima van hogere orde kan onderdrukken; dit is van belang wanneer men één zeer nauwe hoofdbundel wenst zonder dat het zijlussenniveau erg laag behoeft te zijn.

Tot slot willen we nog enige diagrammen laten zien die zijn verkregen met behulp van de methode die is

afstand van 2λ staan. Zij worden met gelijke amplitude en in faze gevoed. Bij de gekozen bandbreedte van de spectrumanalysator (100 kHz) wordt het systeem, naar men met behulp van verg. (16b) kan berekenen, gepresenteerd door een reeks van zeven impulsen die 1 μs breed zijn en een onderlinge afstand van 20 μs hebben. Het schermbeeld in fig. 19*a* is verkregen door deze impulsen te herhalen met een herhalingstijd van 3,5 ms, zodat het beeld uit 350 lijnen bestaat.

De elementen zijn in het systeem van fig. 19 zo kort dat de invloed van de elementfactor niet tot uiting komt. Kiest men ze 10× zo lang — overeenkomstige impulsbreedte 10 μs — dan is dit niet langer het geval. Men kan berekenen dat dan het eerste nulpunt van de elementfactor $e(\omega,\tau) = (\tau/T_p)\,(\sin\omega)/\omega\tau$ juist

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

samenvalt met de derde hoofdlus van de configuratiefactor, zodat deze lus niet in het stralingsdiagram teruggevonden wordt (fig. 19*b*).

Zoals reeds uit de voorgaande figuren gebleken is, hebben de stralingsdiagrammen welke zijn verkregen volgens de ruimte-tijd-analogie, het nadeel dat zij er nogal ruisachtig uitzien. Dit is te wijten aan het feit dat in de rekenmachine de cosinusfuncties stapsgewijs

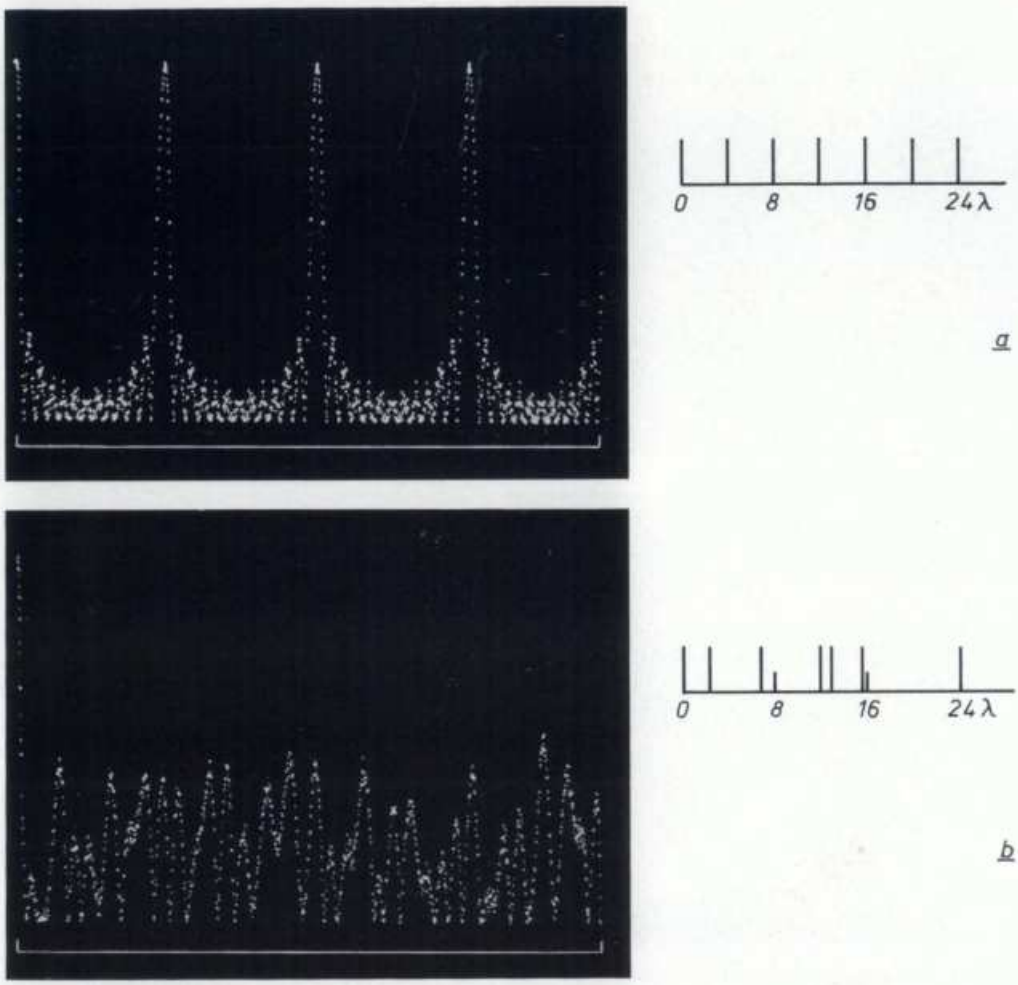
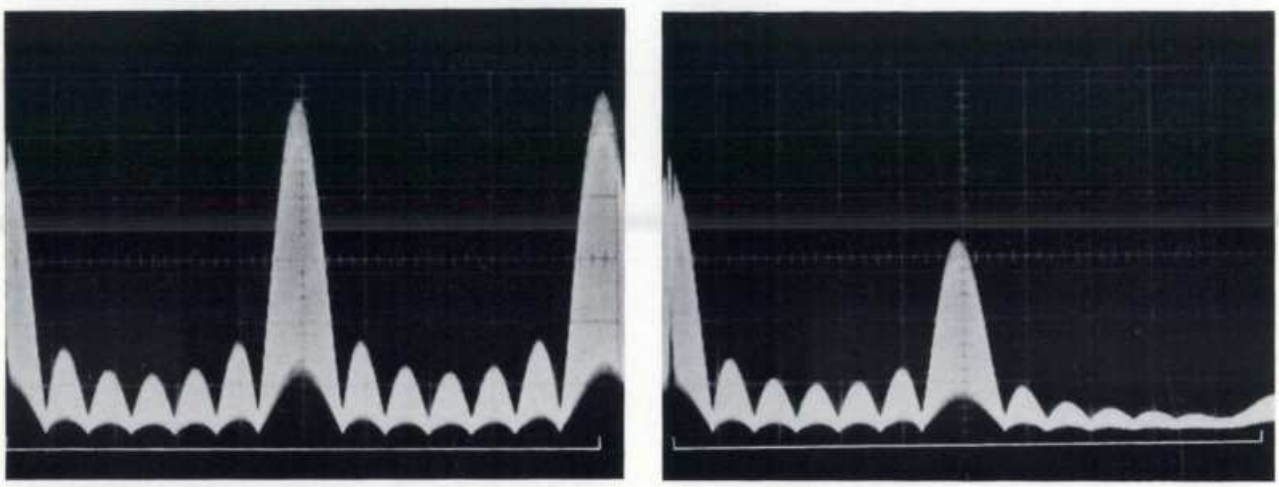


Fig. 18. Onderdrukking van maxima van hogere orde door verandering van de onderlinge afstand der elementen. *a*) Stralingsdiagram van een antennesysteem met 13 gelijk gespatieerde elementen (onderlinge afstand 4λ). *b*) Door verandering van de onderlinge afstand zijn de drie maxima van hogere orde onderdrukt, zij het ten koste van een hoger zijlussenniveau.



a *b*

Fig. 19. *a*) Stralingsdiagram (ruimte-frequentie-analogie) van een gelijk gespatieerd antennesysteem met zeven elementen. *b*) Hetzelfde systeem, maar nu is bij de nabootsing de elementfactor inbegrepen.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info
11/14/2023

gegenereerd worden. Een opvallend voorbeeld hiervan ziet men in *fig. 20a*. Een overeenkomstig diagram, opgenomen volgens het principe van de ruimte-frequentie-analogie, is veel duidelijker (fig. 20*b*).

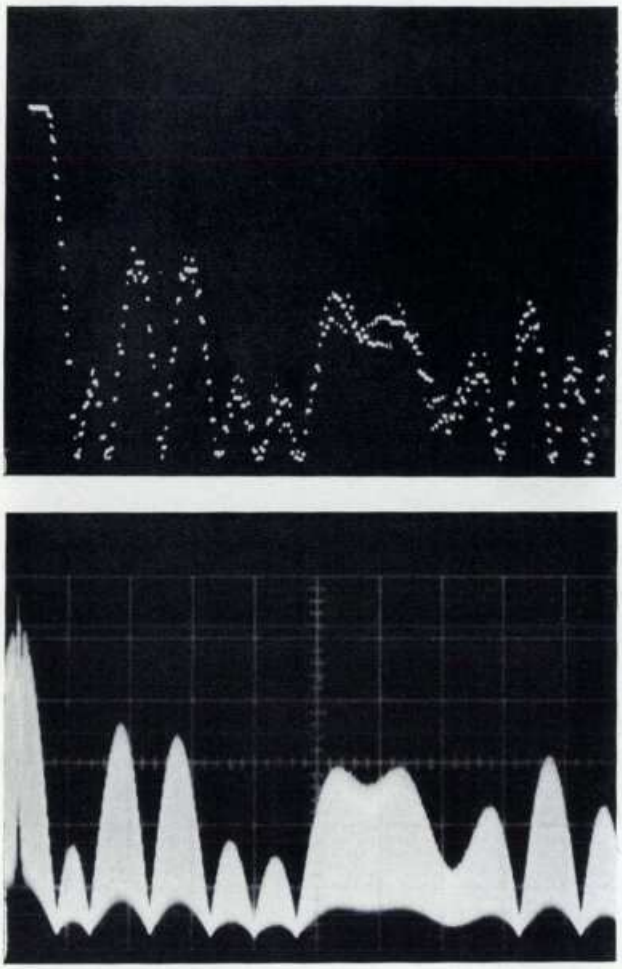


Fig. 20. Vergelijking tussen de ruimte-tijd-analogie (*a*) en de ruimte-frequentie-analogie (*b*) voor een ongelijk gespatieerd systeem met zeven elementen. Van de onduidelijkheid van b.v. de brede zijlus in (*a*) is in (*b*) geen sprake.

Het is mogelijk dit nadeel van de rekenmachine op te heffen, door niet elke cosinusfunctie die gegenereerd moet worden in een gelijk aantal stappen per periode te benaderen, maar door van deze functies de op gelijke tijdstippen bemonsterde waarden te genereren. Dit vergt een veel omvangrijker schakeling, waarop wij hier niet verder zullen ingaan. Wel willen wij nog wijzen op de goede overeenstemming tussen de diagrammen van fig. 20*a* en fig. 20*b*.

Hoewel de in dit artikel beschreven analogon-rekenmachine beschouwd moet worden als een prototype dat nog op verscheidene punten verbeterd kan worden, is de machine in zijn huidige vorm reeds een belangrijk hulpmiddel gebleken bij het ontwerpen van antennesystemen.

Samenvatting. Als men aanneemt dat de antenne-elementen elkaar niet beïnvloeden, kan de configuratiefactor van ongelijk gespatieerde, lineaire antennesystemen op twee wijzen door middel van een elektronisch analogon worden gevonden. 1) Door middel van een ruimte-tijd-analogie, waarbij het systeem wordt voorgesteld door een zodanig frequentiespectrum dat de bijbehorende tijdsfunctie analoog is met de configuratiefactor (d.i. een ruimtefunctie). Voor deze nabootsing is een analogon-rekenmachine gebouwd. 2) Door middel van een ruimte-frequentie-analogie. Hierbij worden de antenne-elementen voorgesteld door impulsvormige signalen, optredend op zodanige momenten dat het frequentiespectrum van deze tijdsfunctie analoog is met de configuratiefactor.

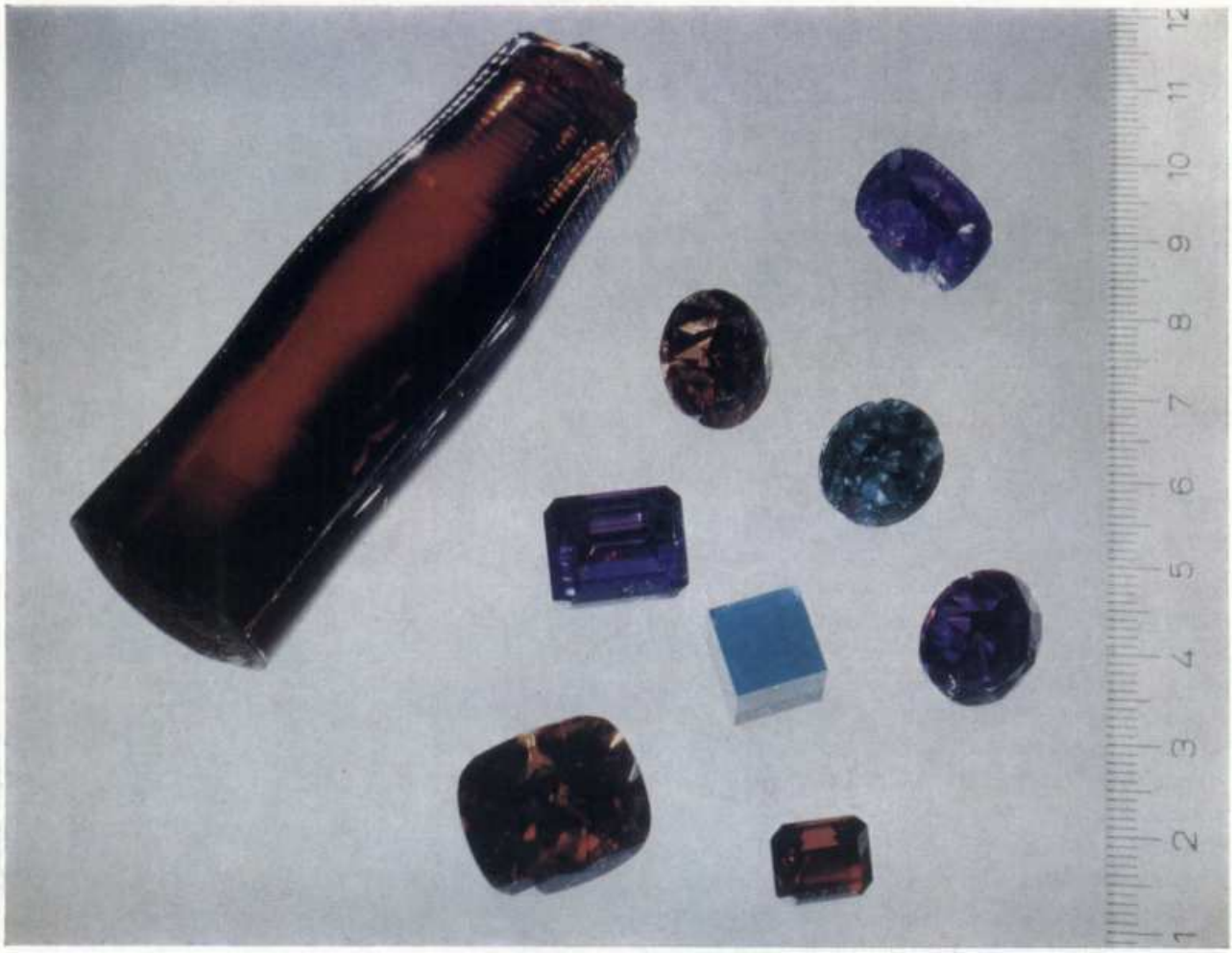
De elektronische inrichting van de rekenmachine gebaseerd op de ruimte-tijd-analogie wordt beschreven, in het bijzonder de wijze waarop de vereiste cosinusfuncties worden gegenereerd. Dit gebeurt stapsgewijs en met behulp van één impulsreeks, waardoor inschakelverschijnselen ontbreken en een goede reproduceerbaarheid is verkregen. Als voorbeeld worden een aantal stralingsdiagrammen getoond die met behulp van deze rekenmachine zijn verkregen, alsmede enige diagrammen die zijn verkregen door middel van de ruimte-frequentie-analogie. De beide methodes hebben elk hun mogelijkheden en beperkingen, en kunnen nog worden uitgebreid en verbeterd. Een voordeel van de ruimte-tijd-analogie is, dat volgens dit principe systemen nagebootst kunnen worden waarbij de stralingsrichting wordt gevarieerd door middel van de fazen der aan de elementen toegevoerde signalen.

Digitized in Heiloo the Netherlands
Not for sale!

www.freeservicemanuals.info

11/14/2023

Sierstenen van gekleurd lithiumniobaat



Lithiumniobaat ($LiNbO_3$) trekt sinds een aantal jaren sterk de aandacht door zijn opmerkelijke ferro-elektrische en optische eigenschappen. Wegens de hoge brekingsindex ($n_o = 2{,}30$ en $n_e = 2{,}21$ voor natriumlicht) en de grote dispersie (0,13 in het zichtbare spectrale gebied) zou men eraan kunnen denken het materiaal ook voor sierstenen te gebruiken, al laat de hardheid (Mohs 5) wat te wensen over. Men kan $LiNbO_3$ uiteenlopende kleuren geven door toevoeging van oxiden van de overgangsmetalen, met name Cr_2O_3 (groen), Fe_2O_3 (rood) en Co_2O_3 (blauw), in concentraties van omstreeks 0,1 gew.%. In het Philips Forschungslaboratorium Aachen GmbH zijn volgens de bekende optrekmethode van Czochralski talrijke monokristallen vervaardigd, met en zonder dotering [1]. Het materiaal bevond zich daarbij in een platinakroes van 40 mm doorsnede en 45 mm hoogte, die inductief verwarmd werd. De optreksnelheid bedroeg 10-20 mm/h, de rotatiesnelheid ca. 30 omw/min. De langs deze weg verkregen kristallen waren van goede kwaliteit en bereikten doorsneden tot 25 mm en lengten tot 80 mm (gewichten tot 120 g). Op de foto ziet men een onbewerkt monokristal van met Fe_2O_3 gedoteerd $LiNbO_3$, alsmede een aantal sierstenen die door de firma Gebr. Bank te Idar-Oberstein uit kristallen met diverse doteringen werden geslepen.

[1] Zie ook J. Liebertz, Z. Dtsch. Gemmolog. Ges. **64**, 15-16, 1968.

Digitized in Heiloo the Netherlands
Not for sale!

www.freeservicemanuals.info
11/14/2023

Analyse van verkeersstromen met behulp van radar

K. L. Fuller en A. J. Lambell

Door de hoge kosten, verbonden aan de aanleg van nieuwe autowegen, en ook doordat er in en om de steden dikwijls weinig ruimte is voor nieuwe wegen, moeten de bestaande wegen zo efficiënt mogelijk worden gebruikt. Door het beschikbaar komen van goedkope vastestof-generators en -geleiders voor microgolven is het mogelijk geworden om voor het leiden van de verkeersstroom naast televisie ook Doppler-radar te gebruiken, die verscheidene voordelen biedt. In onderstaand artikel wordt een onderzoek beschreven omtrent de vraag of het niet mogelijk is geheel op radar over te gaan.

In 1967 waren er in Groot-Brittannië meer dan 14 miljoen motorvoertuigen geregistreerd, hetgeen overeenkomt met één voertuig voor elke 25 m openbare weg. De toeneming van het verkeer sedert 1945 blijkt uit *fig. 1*, waarin het aantal geregistreerde motorvoertuigen is uitgezet voor de periode 1912-1967. Het aantal voertuigen op de weg verdubbelt zich iedere tien jaar. Een officiële schatting van het aantal geregistreerde voertuigen in het jaar 2010 bedraagt 40 miljoen; waarschijnlijk is deze schatting aan de voorzichtige kant. Het wegenbouwprogramma houdt nauwelijks gelijke tred met deze toeneming en sommige nieuwe wegen zijn reeds overbelast direct nadat ze zijn geopend. Een dergelijke situatie vindt men ook in menig ander land. Het is duidelijk dat het om economische en sociale redenen noodzakelijk is dat de bestaande wegen zo efficiënt mogelijk gebruikt worden. Daar waar uitbreiding van het wegennet onmogelijk is, wordt reeds getracht om op andere wijze de capaciteit van het wegennet te vergroten. Zo worden b.v. in het verkeerscontrolesysteem van West-Londen 70 stel verkeerslichten, die zich op een oppervlakte van 17 km² bevinden, bestuurd door een computer, om de rijtijd zoveel mogelijk te beperken [1]. De kosten van de apparatuur die nodig is om op een dergelijke manier een verbetering te bereiken, wegen ruimschoots op tegen de kosten van de extra-weg die nodig zou zijn om hetzelfde resultaat te bereiken. Daar autosnelwegen £ 600 000 of meer per km kosten, is het duidelijk dat apparatuur die slechts een geringe versnelling van de verkeersstroom bewerkstelligt, reeds economisch verantwoord kan zijn.

Opdat van de bestaande wegen een beter gebruik gemaakt kan worden, zullen de autobestuurders een grotere controle van buiten af op hun verrichtingen moeten accepteren. Zo is het b.v. heel redelijk als er bij mistig weer een snelheidsbeperking wordt ingesteld. Wanneer de bestuurders echter weten dat beperkingen soms onnodig worden opgelegd, bestaat het gevaar dat deze genegeerd worden. Het is daarom voor de politie van essentieel belang over voldoende informatie te beschikken betreffende de verkeerssituatie en het weer, terwijl het omzetten van deze informatie in aanwijzingen aan de autobestuurders zodanig moet geschieden dat er een zo groot mogelijke efficiëntie en veiligheid bereikt worden, waarbij onnodige waarschuwingen of verkeersomleidingen worden vermeden.

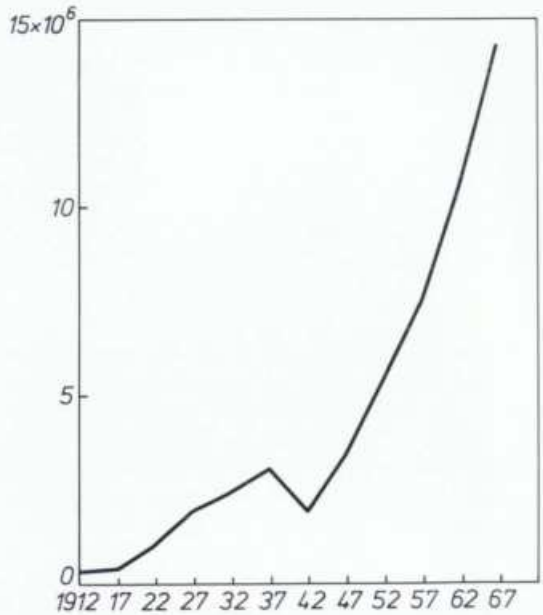


Fig. 1. Het aantal geregistreerde motorvoertuigen in Groot-Brittannië: 1912-1967. De kromme toont duidelijk hoe snel de omvang van het verkeer de laatste 20 jaar is toegenomen.

K. L. Fuller, B.Sc. (Eng.) en A. J. Lambell, M.A., medewerkers van Mullard Research Laboratories, Redhill, Surrey, Engeland.

Digitized in Heiloo the Netherlands
Not for sale!

www.freeservicemanuals.info

11/14/2023

Radar tegenover lijntelevisie

Op drukke weggedeelten wordt de verkeerssituatie tegenwoordig meestal in het oog gehouden met behulp van lijntelevisie. De monitors bevinden zich in een controlecentrum, waar iemand aanwezig is die erop let of er zich geen ongelukken of vertragingen voordoen en vanwaaruit men eventueel de nodige maatregelen treft. Wanneer het een lang stuk weg betreft en er dus een groot aantal monitors in het controlecentrum staat, kan het voorkomen dat de waarnemer een bepaald gebeuren niet tijdig genoeg of zelfs in het geheel niet opmerkt. Er zijn dan voorzieningen nodig waardoor zijn aandacht naar de op dat moment belangrijke monitor wordt getrokken of waardoor men met één monitor kan volstaan. Een mogelijke oplossing voor dit probleem is dat iedere televisiecamera gecombineerd wordt met een Doppler-radarsysteem, waarvan de werking analoog is met die van de door de politie gebruikte apparatuur voor snelheidscontrole. Deze radar geeft dan in de controlekamer een signaal dat aangeeft of zich op het desbetreffende weggedeelte langzaam rijdend verkeer bevindt, welk signaal de aandacht van de waarnemer zal trekken.

Men kan nu de vraag stellen of het mogelijk is de lijntelevisie weg te laten en alleen met de radar te werken. De radar heeft het voordeel dat hij ook in het donker, bij mist en bij regen werkt, terwijl men met televisie onder deze omstandigheden de verkeersstroom niet goed meer kan observeren. En juist dan is de kans op ongelukken het grootst. Bovendien kan men met radar een belangrijke parameter, de snelheid, direct meten. Het idee om radar toe te passen is uitvoerbaar geworden door het beschikbaar komen van vastestofgenerators voor microgolven en van lintleiding (stripline) voor microgolven. Een systeem dat gebaseerd is op klystronoscillators gecombineerd met coaxiale kabel of golfpijp, zou niet economisch zijn: klystronoscillators vereisen een hoge voedingsspanning en hebben een beperkte levensduur, de genoemde leidingen zijn relatief duur en volumineus en bovendien vereist deze oplossing voor ieder afzonderlijk weggedeelte veel apparatuur. Aangezien voor de verkeerscontrole op een autoweg slechts een gering vermogen nodig is, zijn de nieuwe microgolfgenerators voor dit doel ideaal.

Ten einde de bruikbaarheid van de voorgestelde methode van surveillance aan de praktijk te toetsen, hebben wij een experimentele radarinstallatie met signalering gebouwd [2] en beproefd op verschillende plaatsen langs de weg (bruggen, tunnels enz.), in het bijzonder op het verhoogde gedeelte van de snelweg M 4, die de westelijke buitenwijken van Londen met London Airport verbindt.

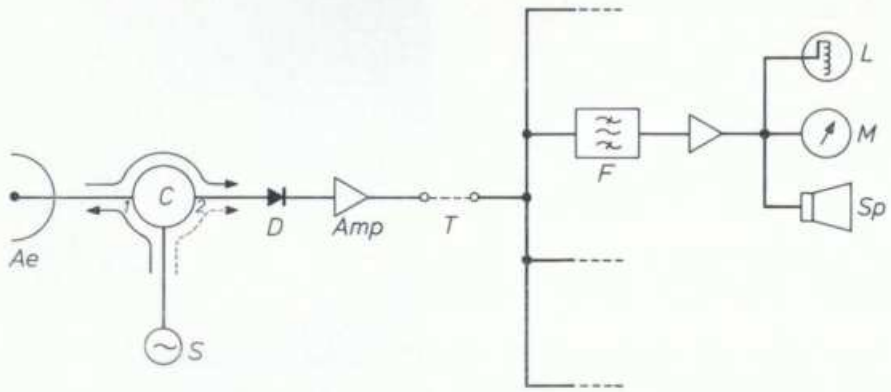


Fig. 2. Vereenvoudigd blokschema van Doppler-radar voor de analyse van verkeersstromen. *S* vastestof-microgolfgenerator (10 GHz). *C* circulator. *Ae* antenne. *D* detector. *Amp* hoofdversterker. *T* telefoonlijn. *F* filter. Er zijn vier filters; het uitgangssignaal van ieder filter wordt versterkt en wordt vervolgens zichtbaar gemaakt door een lamp *L* en een meter *M*, alsmede hoorbaar door een luidspreker *Sp*.

Experimentele apparatuur

In *fig. 2* ziet men een blokschema van het radarsysteem. Een vastestofgenerator *S* wekt een microgolfsignaal op dat door de antenne *Ae* gebundeld wordt en aldus op het gewenste weggedeelte gericht kan worden. Het geheel wordt op een geschikte hoogte (2-7 m) boven de weg geplaatst en de bundel wordt op een punt gericht dat op 400 m afstand ligt. Daar de bundel slechts een kleine hoek met de weg maakt, wordt het weggedeelte tussen de antenne en het genoemde punt vrijwel geheel „beschenen". De signalen, afkomstig van reflexie aan voorwerpen in de

[1] B. M. Cobbe, Traffic control for West London, Electronics and Power **13**, 118-121, 1967.

[2] De schakelingen en de presentatie-apparatuur zijn gemaakt door C. D. McEwen en J. F. Oakley van Mullard Research Laboratories, Redhill (Surrey), Engeland.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info

11/14/2023

bundel, worden opgevangen door dezelfde antenne. De circulator C scheidt de uitgezonden en ontvangen signalen. De frequentie van het gereflecteerde signaal, afkomstig van een stilstaand voertuig, is dezelfde als die van het uitgezonden signaal, maar door het Doppler-effect hebben de signalen afkomstig van bewegende voertuigen een hogere of lagere frequentie al naar gelang het voertuig zich naar de antenne toe beweegt of ervan af. De verschuiving Δf van de frequentie hangt samen met de uitgezonden frequentie f_0 volgens de relatie $\Delta f = 2vf_0/c$, waarin v de snelheid van het voorwerp voorstelt (positief voor beweging naar de antenne toe en negatief voor die ervan af) en c de lichtsnelheid. Bij $f_0 = 10$ GHz bedraagt de Doppler-verschuiving voor een voertuig dat 60 km/h rijdt, 1100 Hz, d.i. een hoorbare frequentie.

Met een ideale circulator zou het door S opgewekte signaal onverzwakt bij poort *1* verschijnen, doch in de praktijk gaat een klein gedeelte van het signaal naar poort *2*. Dit levert een referentiefrequentie, waarmee de frequentie van het ontvangen signaal wordt vergeleken. De uitgezonden en ontvangen signalen worden gemengd door de diode D, die een uitgangssignaal geeft met frequentie Δf. De informatie over de richting van de beweging gaat op deze wijze verloren.

De signalen die de diode afgeeft worden versterkt en via een telefoonkabel naar het controlestation geleid. De frequenties worden door middel van filters gesplitst, zodat er vier snelheidsgebieden kunnen worden onderscheiden: 5-20 km/h, 20-40 km/h, 40-60 km/h en meer dan 60 km/h. Na verdere versterking wordt het uitgangssignaal van ieder filter toegevoerd aan een luidspreker Sp, een meter M en een lamp L.

De radarkop die we bij de eerste experimenten gebruikt hebben, is afgebeeld in *fig. 3*. De antenne was een parabolische reflector met een diameter van 70 cm; de spreiding van de bundel was ongeveer 4°. De vastestof-generator was een varactor-frequentievermenigvuldigingsketen die bij een frequentie van 10 GHz een microgolfvermogen van 15 mW leverde. Bij de lage frequenties, die overeenkomen met zich langzaam bewegende voertuigen, hebben gewone puntcontactdiodes een geringe gevoeligheid daar de flikkerruis sterk is. Daarom werd in onze apparatuur een backward-diode gebruikt, die minder flikkerruis geeft en die 10 dB gevoeliger is dan een conventionele diode.

Een later ontwikkelde kop ziet men in *fig. 4*, waaruit duidelijk blijkt hoe snel de miniaturisatie van microgolfonderdelen is voortgeschreden. De vastestof-generator is een Gunn-oscillator, die ongeveer hetzelfde vermogen levert maar veel kleiner en goedkoper is dan de varactor-vermenigvuldigingsketen. De circulator en detector van fig. 3 zijn vervangen door een onderdeel waarin een 3-dB-lintlijnkoppeling en een detector tot één geheel zijn verenigd.

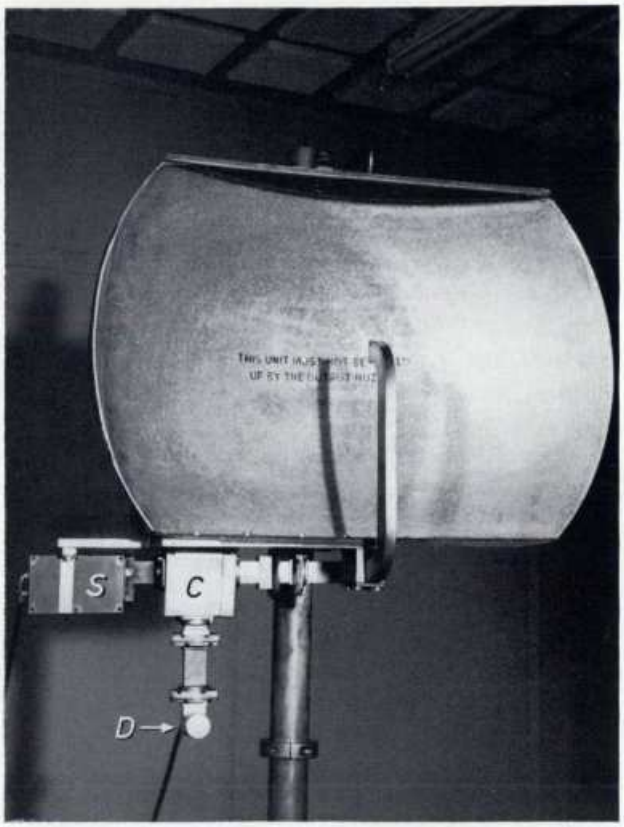


Fig. 3. Radarkop bestaande uit een microgolfgenerator S, een circulator C, een detector D en een antenne (diameter 70 cm). Het geheel wordt op een zodanig punt boven de weg geplaatst dat ongeveer 400 m wegdek overzien kan worden.

In *fig. 5* ziet men de apparatuur waarmee de verkeerssituatie hoorbaar en zichtbaar gemaakt wordt. Zoals gezegd, worden de signalen daarin naar een luidspreker, naar meters en naar lampen geleid, zodat deze drie wijzen van presentatie konden worden vergeleken. Bij experimenteel onderzoek is de luidspreker bijzonder geschikt om na te gaan of de apparatuur goed werkt, want het oor is zeer gevoelig voor veranderingen van de toonhoogte. De meest bruikbare indicatie van de aanwezigheid van verkeer wordt gegeven door de lampen. De beide gebieden waarin de hoge snelheden voorkomen worden gerepresenteerd door groene lampen (*1* en *2*), de beide andere door rode lampen (*3* en *4*). De radar kan geen stilstaande voertuigen signaleren, aangezien het door zulke voertuigen gereflecteerde signaal geen eigenschappen heeft die het onderscheiden van reflexies van de weg. Een voertuig dat snelheid vermindert en stopt zal de lampen *3* en *4* kort doen oplichten, maar als het stilstaat wordt het niet langer gesignaleerd. Het kan gebeuren dat de waarnemer het oplichten niet opmerkt, en daarom is de schakeling zo ingericht dat de lampen *3* en *4* aan blijven tot men ze uitschakelt.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info

11/14/2023

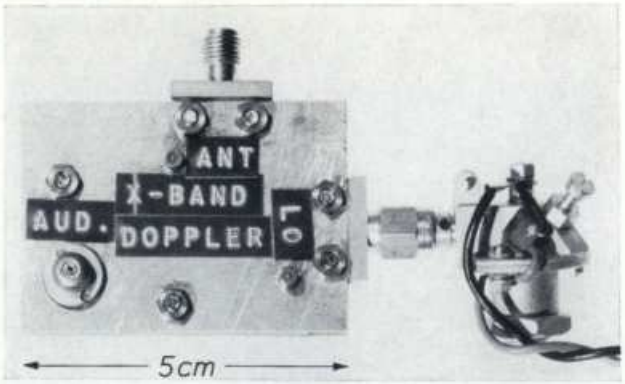


Fig. 4. Miniatuur-radarapparatuur bestaande uit een Gunn-oscillator, een koppeling op basis van lintleiding (Engels: strip-line coupler) en een detector.

Bij de eerste proefnemingen kwam het soms voor dat de rode lampen oplichtten hoewel er alleen snel rijdend verkeer aanwezig was. Dit trad op wanneer er een file passeerde van dicht bij elkaar rijdende voertuigen die alle ongeveer dezelfde snelheid hadden. Het radarsignaal kan dan van de ene naar de andere auto gereflecteerd worden alvorens het de antenne bereikt. Onder deze omstandigheden kan de uiteindelijke Doppler-verschuiving allerlei waarden hebben, die afhangen van de relatieve snelheid van de auto's en van de stand van de oppervlakken waaraan reflexie heeft plaatsgevonden. Daar een bepaalde configuratie van oppervlakken niet lang gehandhaafd blijft, zullen de ermee samenhangende signalen ook slechts van korte duur zijn. Om deze signalen te elimineren zijn de schakelingen die de rode lampen bedienen zodanig gewijzigd dat een lamp alleen gaat branden als het signaal ten minste 2 seconden duurt. Deze tijd werd geacht lang genoeg te zijn om vals alarm te voorkomen, doch kort genoeg om een vertragend voertuig te signaleren.

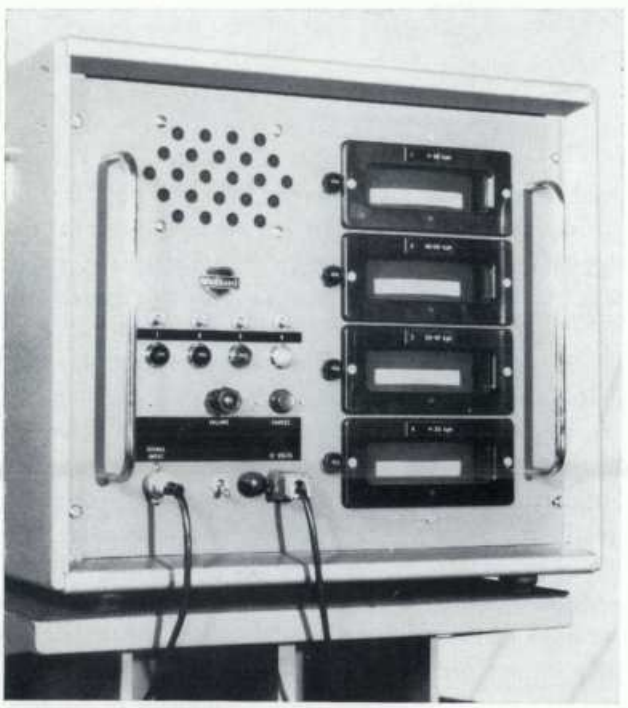


Fig. 5. De apparatuur in de controlekamer. Op de panelen ziet men de luidspreker (boven links), meters (rechts) en lampen (links onder) die de snelheid van het verkeer weergeven.

Experimenten

De radarinstallatie is op zijn bruikbaarheid voor het weergeven van verkeerssituaties getoetst op het verhoogde gedeelte van de autoweg M 4. De antenne werd ongeveer 5 m boven het wegdek op een bestaand verkeersbordenportaal gemonteerd en zó gericht dat de bundel de linkse drie banen bestreek (*fig. 6*). De radar kon voertuigen waarnemen die zich op het weggedeelte bevonden tussen dit portaal en de invoegstrook die links vooraan op de foto te zien is. Dit weggedeelte wordt eveneens bewaakt met een televisiecamera die op een hoog gebouw gemonteerd is. Het weergeefapparaat stond in de controlekamer dicht bij de televisiemonitor. De verkeerssituatie, weergegeven door de radar, werd vergeleken met die welke op de monitor te zien was.

Voertuigen die op het bewaakte stuk autoweg snelheid verminderden en stopten werden onmiddellijk gesignaleerd. Stilstaande voertuigen konden indirect worden waargenomen doordat zij de verkeersstroom op zodanige wijze beïnvloedden dat de lamp die snelheidgebied *3* representeert ging branden. Dit effect was zo opvallend dat de eerder genoemde voorziening, waardoor de rode lampen bleven branden zolang de waarnemer ze niet uitschakelde, overbodig bleek. Door de genoemde verandering van het verkeerspatroon werden vertragende en stoppende voertuigen ook altijd door de waarnemer opgemerkt.

De proef was niet volledig, in deze zin dat de waarnemer de Doppler-radar slechts met de bestaande televisie-installatie vergeleek op een kort stuk autoweg. In het ideale geval zou er met meer posten gewerkt moeten zijn, waarbij de waarnemer geen andere informatie zou krijgen dan die van de radar. Niettemin hebben de beperkte proefnemingen aangetoond dat de apparatuur in principe zeer bruikbaar is en de verwachte resultaten opleverde.

Bij de eerste proeven die na het monteren van de apparatuur genomen werden, bleek de rode lamp, die met het gebied van de laagste snelheden correspondeert, bijna voortdurend te branden. Dit werd veroorzaakt door trillingen van het portaal waarop de antenne gemonteerd was, ten gevolge waarvan de radarkop een laagfrequent ruissignaal afgaf. Dit stoorsignaal werd geëlimineerd door in de schakeling een hoog doorlatend filter op te nemen, dat frequenties die overeenkomen met snelheden van 5 km/h of minder, onderdrukte. Nadat deze voorziening was aangebracht, kwamen valse alarmeringen niet meer voor.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info
11/14/2023

Fig. 6. Met de radar worden de drie linkse rijstroken overzien vanaf het portaal tot aan de invoegstrook (beneden links). De plaatsen van de radarantenne en de televisiecamera zijn resp. aangeduid met *Ae* en *TV*.

Mogelijke inrichting van operationele apparatuur

Bij de zojuist besproken experimentele opstelling was het niet mogelijk de richting van een verkeersstroom vast te stellen. Een manier om dit te doen is het gebruik van een antenne met een nauwe bundel, die zo geplaatst is dat hij slechts één rijbaan bestrijkt. Een volkomen scheiding tussen de rijbanen zal op deze manier echter niet te bereiken zijn, en het zal gebeuren dat langzame voertuigen op de ene rijbaan de lampen die met de andere rijbaan corresponderen doen oplichten. Een betere methode is het veranderen van de radarkop op de wijze als geschetst is in *fig. 7*. Een klein gedeelte van het uitgezonden vermogen wordt toegevoerd aan een eenzijbandmodulator, dat is een apparaat dat de frequentie van het microgolfsignaal verandert met een bedrag dat overeenkomt met de frequentie van een toegevoerd elektrisch signaal. In ons geval zou de frequentie van het uitgezonden signaal 5 kHz verlaagd kunnen worden. Dit signaal wordt nu gemengd met het gereflecteerde signaal dat door de antenne ontvangen wordt. Signalen van stilstaande auto's geven dan een uitgangssignaal van 5 kHz. Voertuigen die zich naar de antenne toe bewegen geven signalen met een frequentie groter dan 5 kHz en die welke zich ervan af bewegen signalen met een frequentie kleiner dan 5 kHz. Er is een filter dat de signalen van 5 kHz niet doorlaat, terwijl een aantal andere filters de andere frequenties scheiden in frequentiegebieden overeenkomende met bepaalde snelheden en richtingen. Een bijkomend voordeel van dit systeem is dat één enkele antenne met een wijde bundel gebruikt kan worden om alle rijbanen te bewaken, in plaats van aparte antennes voor iedere baan. Er zal een iets groter vermogen nodig zijn, maar dit is geen bezwaar en de daaraan verbonden kosten worden meer dan gecompenseerd door de vermindering van de

Digitized in Heiloo the Netherlands
Not for sale!

www.freeservicemanuals.info

11/14/2023

antennekosten. Ervaring met de experimentele apparatuur heeft aangetoond dat men met drie snelheidsgebieden kan volstaan; er is op autowegen maar weinig verkeer dat langzamer dan 60 km/h rijdt. volkomen versperd, want bij punt *5* verschijnt geen verkeer. Het verkeer bij punt *4* staat bijna stil en dat bij *2* en *3* is aan het vertragen. Met enige oefening moet een waarnemer in staat zijn vrij snel de aard van een

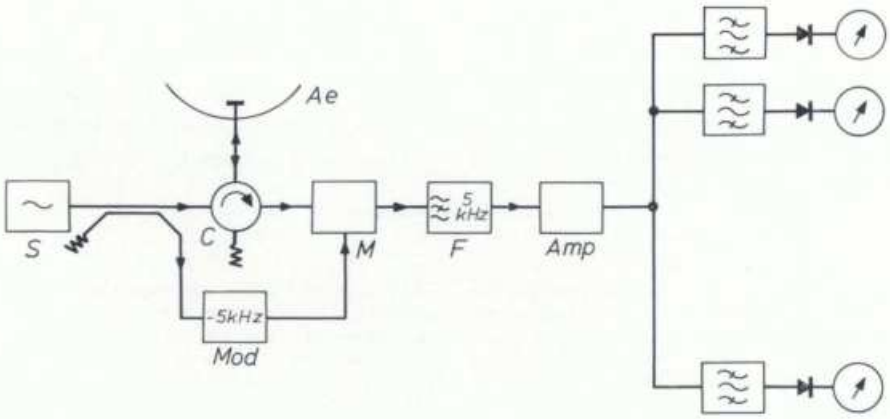


Fig. 7. Blokschema van een Doppler-radarinstallatie waarmee snelheid en richting bepaald kunnen worden. Behalve de onderdelen die ook in de opstelling van fig. 2 voorkomen, zijn er een eenzijbandmodulator *Mod*, een balansmengtrap *M* en een filter *F* dat signalen van 5 kHz tegenhoudt. De modulator verlaagt de frequentie van het signaal dat rechtstreeks naar de detector gaat, met 5 kHz, dat is meer dan de grootste Doppler-verschuiving die men kan verwachten. Daardoor veroorzaken voertuigen die zich naar de antenne toe bewegen aan de uitgang signalen boven 5 kHz en die welke zich ervan af bewegen signalen beneden 5 kHz.

Verkeer in het gebied van 30-60 km/h bestaat of uit zwaar vervoer of uit voertuigen die langzamer rijden ten gevolge van een kleine verkeersbelemmering. Wordt er langzamer gereden dan 30 km/h, dan is dat bijna altijd het gevolg van een ernstige verkeersbelemmering. De verschillende snelheidsgebieden kunnen resp. worden aangeduid met groene, gele en rode lampen. De lampen kunnen geplaatst worden op een tableau van de weg, met twee stel van drie lampen voor iedere radarinstallatie, één stel voor iedere richting.

In *fig. 8* is geschetst wat men op zo'n tableau bij verschillende verkeerssituaties te zien zal krijgen. Fig. 8*a* toont de normale verkeersstroom, waarbij alle voertuigen harder rijden dan 60 km/h. In fig. 8*b* bevindt zich of een langzaam rijdend voertuig op de weg of er is een kleine verkeersbelemmering bij punt *4*. Deze zou gevormd kunnen worden door een auto die aan de kant van de weg is gaan staan en één rijstrook blokkeert. De werkelijke situatie zal vrij snel duidelijk worden, want als de lamp een langzaam voertuig aanduidt, zal steeds een volgende gele lamp oplichten. In fig. 8*c* wijst het lichtenpatroon op een ernstige verkeersbelemmering bij punt *4*. De weg is blijkbaar

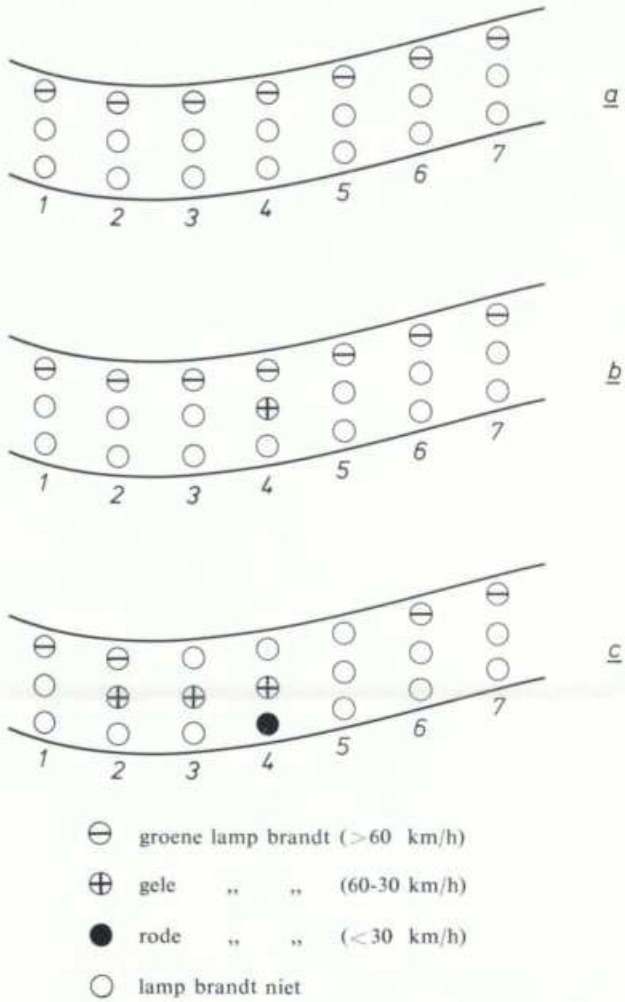


Fig. 8. Tableau van een rijbaan met lampen die de snelheid van het verkeer weergeven. *a*) Normale verkeerssituatie: alle voertuigen rijden harder dan 60 km/h. *b*) Kleine verkeersbelemmering bij *4*; er brandt een gele lamp. *c*) Ernstige verkeersbelemmering bij *4*; er branden rode en gele lampen, bij *5* brandt geen enkele lamp.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info
11/14/2023

vertraging vast te stellen, de nodige stappen te doen voor nader onderzoek en het verkeer zonodig om te leiden.

De Doppler-radarkop van fig. 4 kan op vele manieren gebruikt worden. Zo zal hij b.v. in combinatie met een in het wegdek verzonken antenne kunnen dienen om plaatselijk de snelheid van het verkeer te meten. Hij kan ook gebruikt worden als een zeer gevoelige alarminrichting tegen inbrekers en wordt reeds toegepast voor de regeling van de snelheid van een automatisch bestuurde tractor. Het hierboven beschreven aparaat voor verkeerscontrole is slechts één van de vele toepassingsmogelijkheden van goedkope radarsystemen van gering vermogen.

De auteurs danken het Britse Ministry of Transport voor de toestemming tot publikatie van dit onderzoek; de experimentele opstelling is gebouwd volgens een contract met genoemd ministerie.

Samenvatting. Door de komst van vastestof-microgolfgenerators en microgolfonderdelen op basis van lintleiding wordt de civiele toepassing van radarsystemen van laag vermogen niet langer in de weg gestaan door economische bezwaren. Een experimenteel Doppler-radarsysteem is gebruikt om na te gaan of snelheidsmeting met radar een geschikt hulpmiddel is voor het regelen van het verkeer. Een stuk autoweg van 400 m wordt door middel van een parabolische reflector (diam. 70 cm) bestraald met een 10-GHz-radarsignaal van 15 mW. De frequentie van de gereflecteerde signalen, afkomstig van rijdende voertuigen, is verschoven met een bedrag dat evenredig is met de snelheid. Deze signalen worden gemengd met het uitgezonden signaal en geven signalen die in vier frequentiegebieden worden gesplitst, die corresponderen met vier snelheidsgebieden. In ieder snelheidsgebied worden de signalen zichtbaar gemaakt met behulp van lampen en meters en hoorbaar met een luidspreker. De radar is in gebruik geweest op het verhoogde gedeelte van de autoweg M 4 in West-Londen. Vergelijking van de snelheidsindicatie van de radar met het televisiebeeld van hetzelfde weggedeelte toonde aan dat de radar verkeersbelemmeringen en vertragingen op betrouwbare wijze kan signaleren, waarbij het aantal valse alarmeringen verwaarloosbaar is.

Digitized in Heiloo the Netherlands
Not for sale!

www.freeservicemanuals.info

11/14/2023

Thermogravimetrisch onderzoek aan ferrieten

P. J. L. Reijnen

Thermogravimetrisch onderzoek is een betrekkelijk simpele maar zeer effectieve methode voor het bestuderen van chemische reacties waarbij tegelijkertijd vaste stoffen en gassen zijn betrokken. Bij het in dit artikel als voorbeeld beschreven onderzoek heeft men er zelfs allerlei finesses van de defectstructuur van de onderzochte vaste stof mee aan het licht kunnen brengen, die van belang zijn voor de beheersing van sinterprocessen.

Een vaste stof die in evenwicht verkeert met een omringend gas, zal bij verandering van de temperatuur of de gasdruk gas opnemen of afgeven, en derhalve van gewicht veranderen, totdat een nieuwe evenwichtstoestand is bereikt. Het bepalen van deze gewichtsveranderingen als functie van de temperatuur en de partiële druk van het gas waarmee de vaste stof reageert, levert dus gegevens over het vastestof-gasevenwicht en over de reactie waardoor dit evenwicht tot stand komt. Dit is het principe van de thermogravimetrie [1].

Wij hebben deze methode toegepast voor onderzoek aan ferrieten in het temperatuurgebied van 1000 tot 1400 °C, waarbij een zodanige nauwkeurigheid is bereikt dat we zelfs inzicht hebben kunnen verkrijgen in de defectstructuur die het materiaal in het genoemde temperatuurgebied vertoont.

Eén aanduiding moge volstaan om aan te geven waarom dit inzicht belangrijk is. Sinds enige jaren zijn grote vorderingen gemaakt bij het beheersen van sinterprocessen. Sinterreacties vinden plaats bij hoge temperaturen, vaak boven 1000 °C. Roosterfouten, en wel speciaal vacatures, spelen een belangrijke rol bij het hierbij optredende materiaaltransport. Voor een goede beheersing van het sintergedrag dienen wij derhalve inzicht te hebben in de defectstructuur van de materie bij de temperaturen waarbij de sinterprocessen zich voltrekken.

Als voorbeeld hoe ferrieten, en ook andere vaste stoffen, met behulp van een thermobalans onderzocht kunnen worden, beschrijven we in dit artikel een thermogravimetrisch onderzoek aan het ternaire systeem $MgO\text{-}FeO\text{-}Fe_2O_3$ [2].

De thermobalans

In zijn eenvoudigste vorm bestaat een thermobalans uit een balans en een cilindervormige open oven, zoals schematisch in *fig. 1* is weergegeven. De preparaathouder is met een hittevaste draad bevestigd aan een van de balansarmen en hangt in het midden van de oven. De temperatuur van de oven wordt gemeten en geregeld met behulp van een thermokoppel en een verhittingsspiraal. Doordat de oveninhoud in vrije verbinding staat met de buitenlucht, is de druk constant.

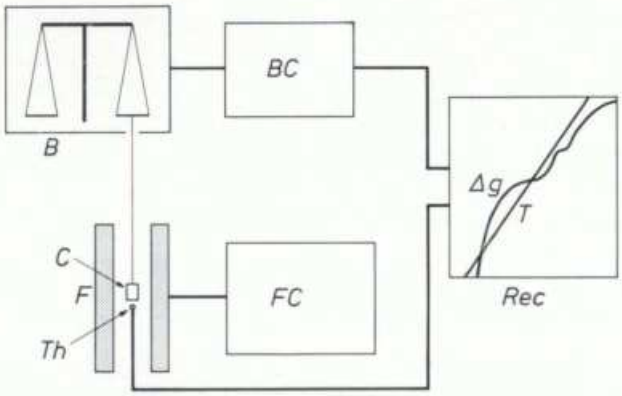


Fig. 1. Schema van een thermobalansopstelling. *B* balans. *C* preparaathouder. *F* oven. *Th* thermokoppel. *BC* schakeling die de balans automatisch in evenwicht houdt en de gewichtsverandering meet. *FC* temperatuurstabilisator. De temperatuur *T* en de gewichtsverandering *Δg* worden beide geregistreerd door de schrijver *Rec*.

Wil men evenwichten onderzoeken, dan dient de temperatuur na elke stap waarmee men deze verhoogt, enige tijd constant gehouden te worden. Voor ons onderzoek hebben we de temperatuur in stappen van 20 °C verhoogd en telkens gedurende 20 minuten constant gehouden.

Gedurende de analyse treden ook *schijnbare* gewichtsveranderingen op ten gevolge van veranderingen in de dichtheid van de lucht in de oven en ten gevolge van luchtstromingen in de oven. Hoewel deze schijnbare gewichtsveranderingen niet groot zijn, dient men hiervoor veelal toch te corrigeren. Het bedrag waarmee

Dr. P. J. L. Reijnen, destijds medewerker van Philips' Natuurkundig Laboratorium, Eindhoven, thans medewerker van La Radiotechnique Compelec, S.A., Evreux, Frankrijk.

[1] Zie voor een uitvoerige behandeling b.v. P. D. Garn, Thermoanalytical methods of investigation, Academic Press, New York 1965, hfdst. IX en X, of C. Duval, Inorganic thermogravimetric analysis, 2e druk, Elsevier, Amsterdam 1963, hfdst. 1 t/m 3.

[2] Zie ook P. J. L. Reijnen, Philips Res. Repts. **23**, 151, 1968.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info

11/14/2023

gecorrigeerd moet worden, kan men b.v. vinden door een zelfde thermogravimetrische analyse uit te voeren aan „uitgestookt" Al_2O_3, dat theoretisch constant in gewicht moet blijven.

De nauwkeurigheid van de door ons gebruikte thermobalans bedroeg 0,1 mg. De preparaten hadden een gewicht van ca. 5 g. Ten behoeve van verder onderzoek hebben we nog een meer geavanceerd type thermobalans ontwikkeld, waarmede een ongeveer 10 maal grotere nauwkeurigheid kan worden verkregen, en waarbij tevens de druk gevarieerd kan worden.

De bepaling van het fazendiagram

Voor de bepaling van het fazendiagram [3] van het systeem MgO-FeO-Fe_2O_3 worden preparaten gereed gemaakt bestaande uit MgO en Fe_2O_3, telkens in een andere gewichtsverhouding. De verbindingen MgO en Fe_2O_3 reageren bij lage temperatuur vrijwel niet met elkaar, zodat hun evenwichtstoestand niet bereikt wordt, zoals vereist is voor het bepalen van fazendiagrammen. Derhalve dienen de preparaten een voorbehandeling te ondergaan, die voornamelijk hieruit bestaat dat het uitgangsmateriaal heel fijn gemalen wordt en enige tijd op ca. 1000 °C wordt gehouden. Deze behandeling waarborgt tevens dat het uitgangsmateriaal volledig geoxideerd wordt. De aldus behandelde preparaten onderwerpen we in de thermobalans aan een stapsgewijze temperatuurverhoging en we meten de corresponderende gewichtsvermindering. Deze gewichtsverminderingen geven de hoeveelheid zuurstof aan die vrijkomt als gevolg van de reductie van driewaardig tot tweewaardig ijzer:

$$Fe^{3+} + \tfrac{1}{2}\,O^{2-} \rightarrow Fe^{2+} + \tfrac{1}{4}\,O_2\uparrow.$$

Uit de gevonden gewichtsvermindering kunnen we de verhouding van de hoeveelheden tweewaardig en driewaardig ijzer in het preparaat berekenen. Het is gebruikelijk deze verhouding uit te drukken in de verhouding van de hoeveelheid Fe^{2+} tot de totale hoeveelheid ijzer ($Fe^{2+} + Fe^{3+}$). We noemen deze samenstellingsvariabele s; deze kan alle waarden tussen 0 en 1 aannemen. Geheel overeenkomstig geeft x de verhouding aan van de hoeveelheid ijzer tot de hoeveelheid magnesium en ijzer samen, eveneens in gramequivalent. De waarde van x is te berekenen uit de afgewogen hoeveelheden MgO en Fe_2O_3, doch daar we er rekening mee moeten houden dat door het malen de uitgangsmaterialen met ijzer worden verontreinigd, moet x nog eens nauwkeurig door een chemische analyse bepaald worden. In *fig. 2* vindt men een voorbeeld van een thermogram, opgenomen aan materiaal met samenstelling $x = 0{,}683$.

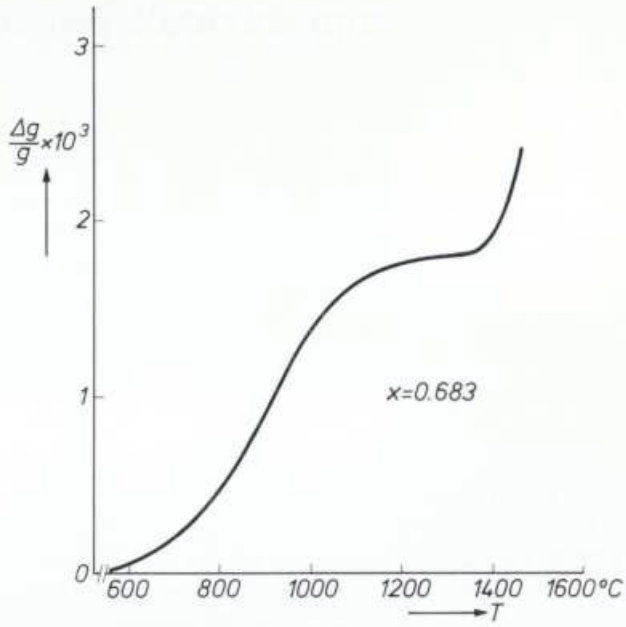


Fig. 2. Voorbeeld van een thermogram van het systeem MgO-FeO-Fe_2O_3, met samenstelling $x = 0{,}683$. De afgifte van zuurstof begint bij omstreeks 550 °C. Bij stijgende temperatuur wordt aanvankelijk zuurstof afgegeven volgens de reactie $3\,Fe_2O_3 \rightleftharpoons 2\,Fe_3O_4 + \tfrac{1}{2}\,O_2$; hierbij ontstaat de spinelfaze (zie ook fig. 4). Het horizontale deel van de curve correspondeert met de samenstelling van stoechiometrisch spinel. Bij verdere temperatuurverhoging loopt de curve aanzienlijk steiler omhoog. De zuurstof wordt dan afgegeven volgens de reactie $Fe_3O_4 \rightleftharpoons 3\,FeO + \tfrac{1}{2}\,O_2$; hierbij wordt de wüstietfaze gevormd.

De gegevens die de thermogravimetrische analyse ons oplevert worden bijeengebracht in een diagram als in *fig. 3*. De samenstellingsvariabelen x en s zijn langs twee zijden van een gelijkzijdige driehoek uitgezet, zoals gebruikelijk is bij ternaire fazendiagrammen. De curven in het diagram zijn isothermen. Het diagram geldt voor de partiële zuurstofdruk van lucht van 1 atmosfeer.

Het verloop van de isothermen in het diagram verschaft ons belangrijke aanwijzingen. We zien dat de isothermen ten dele uit rechte stukken bestaan. Uit de fazenregel kan worden afgeleid dat er *in samenstellingsgebieden waar de isothermen recht zijn, twee vaste fazen met elkaar in evenwicht zijn.*

De fazenregel geeft het verband tussen het aantal fazen P, het aantal componenten C en het aantal onafhankelijk variabelen F van een in thermodynamisch evenwicht verkerend systeem: $F = C - P + 2$. Het aantal componenten van het door ons beschouwde systeem is drie. Komt er naast de gasfaze slechts één vaste faze in het systeem voor, dan is het aantal onafhankelijke variabelen dus drie, komen er twee vaste fazen voor dan zijn het er twee, enz. Wordt de partiële zuurstofdruk constant gehouden, zoals in ons geval gebeurt, dan hebben we in het laatste geval nog maar één onafhankelijk variabele. Dat wil zeggen dat bij een gegeven temperatuur de samenstelling van elk van de twee fazen vastligt. Deze constante samenstellingen worden aangegeven door de punten waarin de rechte delen van de isothermen overgaan in krommen. De rechte delen geven slechts de verandering aan van de verhouding waarin de twee fazen met hun con-

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

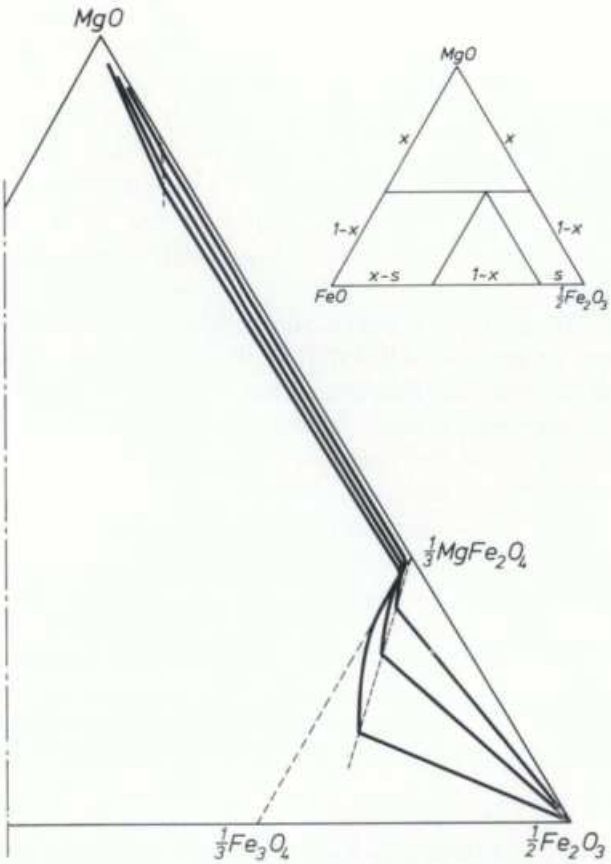


Fig. 3. Het resultaat van in atmosferische lucht aan MgO-FeO-Fe_2O_3 uitgevoerde thermogravimetrische analyses bij verschillende waarden van de samenstellingsparameter x, verwerkt in de vorm van isothermen in een fazendiagram.

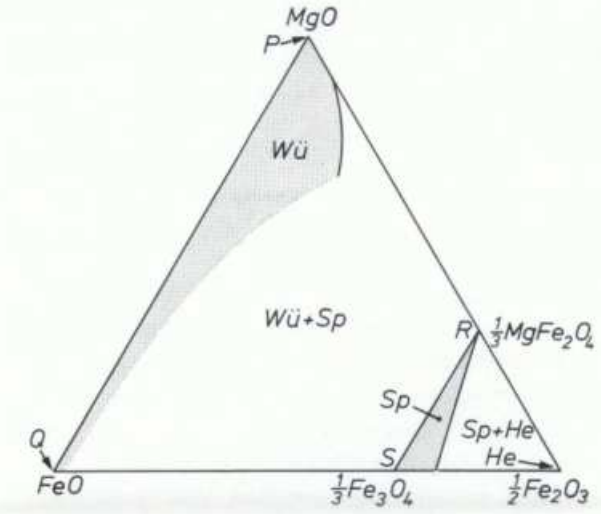


Fig. 4. Uit het verloop van de isothermen in fig. 3 kunnen de fazegrenzen geconstrueerd worden. De rechte stukken van de isothermen liggen in tweefazengebieden, de gebogen curven in éénfazegebieden. Eén ervan, de hematietfaze *He*, ligt bij het rechterhoekpunt en heeft geen noemenswaardige uitgebreidheid. De grijze driehoek *Sp* is het samenstellingsgebied van de spinelfaze. De lijn *RS* geeft de samenstellingen van stoechiometrisch spinel aan: mengkristallen van $Fe^{II}Fe_2^{III}O_4$ en $MgFe_2^{III}O_4$. Het overige deel van de driehoek beantwoordt aan de spinelfaze waarin tevens Fe_2O_3 opgelost voorkomt. Het gebied *Wü* boven in het diagram is het (slechts gedeeltelijk aangeduide) gebied van de wüstietfaze, waarbij de lijn *PQ* correspondeert met de stoechiometrische samenstellingen.

stante samenstelling voorkomen. Ze komen derhalve overeen met de *connoden* van tweefazengebieden. De samenstellingsgebieden waarin de gebogen curven voorkomen, zijn éénfazegebieden.

Door de punten waarin de rechte stukken overgaan in krommen met elkaar te verbinden, kunnen we de gebieden met één vaste faze afbakenen (*fig. 4*). Er blijken twee samenstellingsgebieden te zijn waarin twee vaste fazen met elkaar in evenwicht zijn en drie samenstellingsgebieden waarin één enkele vaste faze voorkomt. De drie afzonderlijke vaste fazen zijn: 1) de wüstietfaze *Wü*, dat is een vaste oplossing van MgO, FeO en Fe_2O_3, 2) de spinelfaze *Sp*, een vaste oplossing van $MgFe_2^{III}O_4$, $Fe^{II}Fe_2^{III}O_4$ en Fe_2O_3, en 3) de hematietfaze *He*, die voornamelijk uit Fe_2O_3 bestaat.

In verband met onze belangstelling voor de defectstructuur van het te onderzoeken systeem nog het volgende. De samenstellingen op de lijn *PQ*, die uitsluitend bestaan uit mengkristallen van MgO en FeO, noemen we *stoechiometrisch* wüstiet. In deze stoechiometrische samenstelling is de verhouding van kationen tot anionen precies 1. In het samenstellingsgebied buiten de lijn *PQ* is tevens Fe_2O_3 in de wüstietfaze opgelost. Dit heeft tot gevolg dat er kationvacatures ontstaan; we zullen dat verderop in dit artikel verklaren.

De samenstellingen op de lijn *RS*, die uit zuivere mengkristallen bestaan van $MgFe_2^{III}O_4$ en $Fe^{II}Fe_2^{III}O_4$, noemen we *stoechiometrisch* spinel. De verhouding van het aantal kationen tot het aantal anionen is hier gelijk aan 3:4. Ook in dit geval is er een samenstellingsgebied waar Fe_2O_3 opgelost voorkomt in de spinelfaze en ook in dit geval mogen we aannemen dat deze faze gekenmerkt wordt door de aanwezigheid van kationvacatures. Overigens zal hieronder blijken dat ook FeO en MgO, zij het in veel geringere mate, in de spinelfaze oplossen, zodat de linkergrens van het spinelgebied niet exact samenvalt met de lijn *RS*. In dat gebied zullen er kationvacatures voorkomen.

De defectstructuur van de spinelfaze

We hebben in het voorgaande verondersteld dat er bij de thermogravimetrische analyse zuurstof vrijkomt of opgenomen wordt volgens de reactievergelijking:

$$Fe^{3+} + \tfrac{1}{2}\,O^{2-} \rightleftarrows Fe^{2+} + \tfrac{1}{4}\,O_2. \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$

Of deze veronderstelling juist is, kunnen we als volgt toetsen. Een evenwichtsconstante K heeft altijd de

[3] Voor een behandeling van het fazendiagram van ternaire systemen zie: J. L. Meijering, Fazenleer, III. Ternaire systemen, Philips techn. T. **27**, 228-243, 1965/66.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info
11/14/2023

gedaante $A \exp(-\Delta G/RT)$, waarin ΔG de vrije enthalpie is van de evenwichtsreactie, A een evenredigheidsconstante, R de gasconstante en T de absolute temperatuur. Dat wil zeggen dat de logaritme van K lineair moet afhangen van $1/T$. We zullen ons in hetgeen volgt in het bijzonder bezighouden met de spinelfaze.

Stellen we de concentratie van de zuurstofionen gelijk aan 1, dan kunnen we voor de evenwichtsconstante schrijven:

$$K = \frac{[Fe^{2+}]\, p(O_2)^{\frac{1}{4}}}{[Fe^{3+}]\, [O^{2-}]^{\frac{1}{2}}} = \frac{s}{x-s}\, p(O_2)^{\frac{1}{4}} . \quad . \quad . \quad (2)$$

Bij de door ons uitgevoerde analyse was de partiële zuurstofdruk constant. In *fig. 5* is log K, berekend volgens (2) uit gegevens die verkregen zijn met een preparaat met samenstellingsparameter $x = 0{,}702$, uitgezet tegen $1/T$. Zoals men ziet, is de curve niet recht. Dit wijst erop dat bovenstaand evenwicht (1) de reactie niet goed beschrijft.

De verklaring moet in de eerste plaats hierin gezocht worden dat er in het evenwicht puntdefecten zijn betrokken, zoals vacatures en interstitiële ionen. Vacatures kunnen op verschillende wijzen ontstaan, b.v. doordat een lege roosterplaats aan het oppervlak naar binnen diffundeert (Schottky-wanorde), of door de vorming van interstitiële ionen (Frenkel-wanorde).

Voorts moeten we rekening houden met het feit dat er in de spinelfaze twee subroosters zijn voor de kationen: het A-subrooster, waarin de kationen door

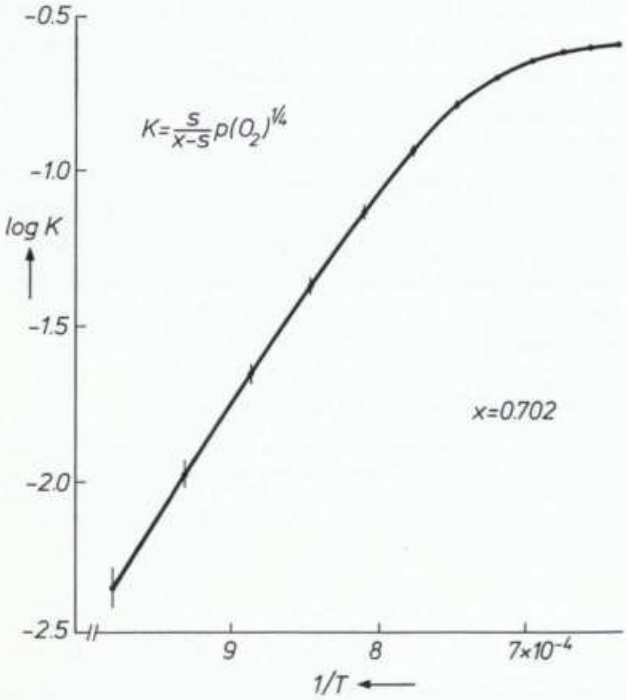


Fig. 5. De logaritme van de evenwichtsconstante K, berekend volgens (2), uitgezet tegen de reciproke waarde van de absolute temperatuur T. Het verband is niet lineair, wat erop wijst dat de reactievergelijking (1), waaruit (2) is afgeleid, niet juist kan zijn.

vier zuurstofionen zijn omringd (tetraëderplaatsen), en het B-subrooster, waarin de kationen door acht zuurstofionen zijn omringd (octaëderplaatsen). Eén derde deel van de kationen bevindt zich op A-plaatsen en twee derde deel op B-plaatsen. De verdeling van de verschillende soorten kationen over de beschikbare A- en B-plaatsen hangt van de temperatuur af en beïnvloedt mede het evenwicht tussen vaste stof en zuurstof.

We geven thans enkele voorbeelden van de symbolen die gebruikt worden voor de puntdefecten; over de zg. complexe defecten, gevormd door associatie van puntdefecten en ionen, spreken we later nog.

Mg_A^{2+} = Mg^{2+}-ion op A-plaats,
Mg_B^{2+} = Mg^{2+}-ion op B-plaats,
Mg_i^{2+} = Mg^{2+}-ion op interstitiële plaats,
V_A = lege A-plaats (vacature),
V_A^+ = lege A-plaats waaraan een elektron onttrokken is,
V_O = zuurstofvacature,
V_O^- = zuurstofvacature waaraan een elektron toegevoegd is [4].

Zo wordt de vorming van Schottky-vacatures beschreven door:

$$\text{vacuüm} \rightleftarrows V_A + 2\, V_B + 4\, V_O.$$

De vorming van interstitiële kationen gaat volgens de Frenkel-evenwichten:

$$Mg_A^{2+} \rightleftarrows Mg_i^{2+} + V_A$$

en

$$Fe_B^{3+} \rightleftarrows Fe_i^{3+} + V_B.$$

De verdeling van een ionsoort over A- en B-plaatsen wordt weergegeven door reactievergelijkingen als:

$$Mg_A^{2+} + Fe_B^{3+} \rightleftarrows Fe_A^{3+} + Mg_B^{2+}, \text{ enz.}$$

Al deze en de volgende reactievergelijkingen voldoen aan de volgende voorwaarden:

a) Behoud van de elektrische lading.
b) De verhouding van het aantal kationplaatsen tot het aantal anionplaatsen blijft 3:4 (geldt speciaal de spinelfaze) en de verhouding van het aantal A- en B-plaatsen blijft 1:2.
c) Het aantal atomen en ionen van een bepaald element blijft ongewijzigd.

In een ionenrooster ontstaan ook puntdefecten wanneer men er een ionogene verbinding in oplost met een andere kation-anionverhouding. Lost men b.v. Al_2O_3 op in $MgAl_2O_4$, dan worden op elke 12 ionen O^{2-} slechts 8 ionen Al^{3+} aan het spinelrooster toegevoegd. In het spinelrooster zijn echter voor elke 12 zuurstofplaatsen 9 kationplaatsen beschikbaar. Veronderstellen we dat de zuurstof niet interstitieel oplost, hetgeen op energetische gronden gerechtvaardigd is, dan zal er, telkens als er vier moleculen Al_2O_3 in het

Digitized in Heiloo the Netherlands
Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

spinelrooster worden opgenomen, één kationplaats leeg blijven. Door oplossing van Al_2O_3 in $MgAl_2O_4$ ontstaan er dus kationvacatures. Hierdoor worden ook de concentraties van andere puntdefecten beïnvloed, aangezien de eerder genoemde relaties tussen puntdefecten blijven gelden.

Evenzo wordt het aantal defecten beïnvloed door oxidatie- en reductieprocessen. Zo heeft de reductie van ferri-ionen in eerste instantie de vorming van zuurstofvacatures ten gevolge:

$$Fe_B^{3+} + \tfrac{1}{2}\,O^{2-} \rightleftarrows Fe_B^{2+} + \tfrac{1}{4}\,O_2 + \tfrac{1}{2}\,V_O. \quad (3)$$

Aangezien we weten dat in de spinelfaze Fe_2O_3 oplost, moeten we op grond van dezelfde redenering als in het geval van Al_2O_3 tevens rekening houden met de aanwezigheid van kationvacatures. De kationvacatures nemen deel aan het Schottky-evenwicht:

$$\text{vacuüm} \rightleftarrows V_A + 2\,V_B + 4\,V_O,$$

met als evenwichtsconstante $K_S = [V_A]\,[V_B]^2\,[V_O]^4$.

Hieruit kunnen we afleiden dat reeds bij een geringe hoeveelheid opgelost Fe_2O_3 het aantal anionvacatures zeer gering is. Daar bovendien bekend is dat kationvacatures voornamelijk in het B-subrooster voorkomen, ligt het voor de hand bovenstaande reactie (3) met de volgende evenwichten te combineren:

$$\tfrac{3}{8}\,V_B + \tfrac{1}{8}\,V_A + \tfrac{1}{2}\,V_O \rightleftarrows \text{vacuüm} \quad (4)$$

en

$$\tfrac{1}{8}\,V_B + \tfrac{1}{8}\,Fe_A^{3+} \rightleftarrows \tfrac{1}{8}\,Fe_B^{3+} + \tfrac{1}{8}\,V_A. \quad (5)$$

Het resultaat is dan:

$$\tfrac{1}{8}\,Fe_A^{3+} + \tfrac{7}{8}\,Fe_B^{3+} + \tfrac{3}{8}\,V_B + \tfrac{1}{2}\,O^{2-} \rightleftarrows Fe_B^{2+} + \tfrac{1}{4}\,O_2. \quad (6)$$

De aan dit evenwicht deelnemende ionen en defecten komen alle in aanmerkelijke hoeveelheid in het hier beschouwde spinel voor. Deze reactievergelijking (6) is beter geschikt om het evenwicht tussen vaste stof en zuurstof te beschrijven dan reactievergelijking (1): hij beschrijft het opnemen of afgeven van zuurstof, rekening houdend met de defectstructuur van de vaste stof.

Voor de berekening van de evenwichtsconstante K van bovenstaande vergelijking moet men ook de evenwichtsconstanten kennen van de distributie-evenwichten:

$$Fe_A^{3+} + Mg_B^{2+} \overset{K_1}{\rightleftarrows} Fe_B^{3+} + Mg_A^{2+},$$

$$Fe_A^{3+} + Fe_B^{2+} \overset{K_2}{\rightleftarrows} Fe_B^{3+} + Fe_A^{2+}$$

en

$$Fe_A^{3+} + V_B \overset{K_3}{\rightleftarrows} Fe_B^{3+} + V_A.$$

Verder beïnvloeden eventueel aanwezige complexe defecten, geladen vacatures en ionen ook het evenwicht. Het is daarom alleen mogelijk de evenwichtsconstante kwantitatief te berekenen voor enige simpele gevallen.

Het bijzondere geval dat de ionen en vacatures geen voorkeur hebben voor A- of B-plaatsen ($K_1 = K_2 = K_3 = 1$), waardoor in feite het onderscheid tussen een A- en een B-subrooster wegvalt, zal nu nader worden uitgewerkt. Het redoxevenwicht kan men dan vereenvoudigen tot:

$$Fe^{3+} + \tfrac{3}{8}\,V_k + \tfrac{1}{2}\,O^{2-} \rightleftarrows Fe^{2+} + \tfrac{1}{4}\,O_2, \quad (7)$$

waarin V_k een lege kationplaats voorstelt.

Voor de berekening van de concentraties van de aan de reactie deelnemende ionen gaan we uit van een spinelfaze met de samenstelling

$$(1-x)\,MgO + (x-s)\,FeO_{1,5} + s\,FeO.$$

We veronderstellen dat slechts twee typen puntdefecten aanwezig zijn, nl. kationvacatures V_k en zuurstofvacatures V_O, met andere woorden: we nemen aan dat de concentraties van interstitiële kationen, geladen defecten en complexe defecten verwaarloosbaar klein zijn. Het aantal ionen van elke soort bedraagt per gramequivalent:

$$n\,(Mg^{2+}) = (1-x)\,N,$$
$$n\,(Fe^{3+}) = (x-s)\,N,$$
$$n\,(Fe^{2+}) = sN,$$
$$n\,(O^{2-}) = (1 + \tfrac{1}{2}\,x - \tfrac{1}{2}\,s)\,N,$$

waarin N het getal van Avogadro is. Het aantal lege zuurstofplaatsen stellen we op δN. Het totale aantal kationplaatsen bedraagt drie kwart van het aantal anionplaatsen, en is dus $\tfrac{3}{4}\,(1 + \tfrac{1}{2}\,x - \tfrac{1}{2}\,s)\,N + \tfrac{3}{4}\,\delta N$. Daarmee vinden we voor het aantal lege kationplaatsen: $(\tfrac{3}{8}\,x - \tfrac{3}{8}\,s - \tfrac{1}{4})N + \tfrac{3}{4}\,\delta N$.

We hebben reeds eerder vastgesteld dat bij oplossing van een geringe hoeveelheid Fe_2O_3 in de spinelfaze het aantal kationvacatures veel groter is dan het aantal anionvacatures. In het kation-deficiënte gebied mag men daarom voor het aantal kationvacatures ook schrijven: $(\tfrac{3}{8}\,x - \tfrac{3}{8}\,s - \tfrac{1}{4})N$. De concentraties van de kationen worden nu als volgt uitgedrukt:

$$[M] = \frac{\text{aantal ionen M}}{\text{totale aantal kationen}}.$$

De concentratie van de zuurstofionen wordt op 1

[4] In de theorie van de halfgeleiders is het gebruikelijk een atoomvacature een *ongeladen vacature* te noemen en een ionvacature een *geladen vacature*. Men werkt daar dan ook met een notatie waarbij b.v. in het symbool voor een kation dat zich op zijn normale roosterplaats bevindt, géén ladingsaanduiding is opgenomen. Voor chemische reacties is deze halfgeleidernotatie minder geschikt, omdat zij niet aansluit bij die voor ionenreacties in waterige oplossingen. De in de tekst gebruikte notatie sluit goed aan bij de ion-notatie van Kröger en Vink, zie F. A. Kröger, F. H. Stieltjes en H. J. Vink, Philips Res. Repts. **14**, 557, 1959.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

gesteld, omdat nagenoeg alle zuurstofplaatsen bezet zijn. We krijgen dan:

$$K = \frac{[Fe^{2+}]\, p(O_2)^{\frac{1}{4}}}{[Fe^{3+}]\, [V_k]^{\frac{1}{3}}\, [O^{2-}]^{\frac{1}{2}}} =$$

$$= \frac{s(\frac{3}{4} + \frac{3}{8}x - \frac{3}{8}s)^{\frac{2}{3}}}{(x-s)\,(\frac{3}{8}x - \frac{3}{8}s - \frac{1}{4})^{\frac{2}{3}}} \times p(O_2)^{\frac{1}{4}}$$

$$= \frac{s(6 + 3x - 3s)^{\frac{2}{3}}}{(x-s)\,(3x - 3s - 2)^{\frac{2}{3}}}\, p(O_2)^{\frac{1}{4}}. \quad \ldots \quad (8)$$

Zetten we nu log K uit tegen $1/T$, dan wordt inderdaad een lineair verband verkregen (*fig. 6*).

We hebben gepoogd om een verder inzicht in de defectstructuur te verkrijgen door ook meer gecompliceerde modellen op de beschreven wijze op hun juistheid te toetsen. Aangezien een kationvacature omgeven is door vier of zes zuurstofionen en er dus ter plaatse van de vacature een overschot aan negatieve lading aanwezig is, zou men kunnen veronderstellen dat de vacatures een positieve lading hebben. Gaat men hiervan uit en neemt men bij de berekeningen het evenwicht $Fe^{3+} + V_k \rightleftarrows V_k^{+} + Fe^{2+}$ in aanmerking, dan wordt de evenwichtsconstante:

$$K = \left(\frac{3x + 5s - 2}{5x - 5s + 2}\right)^{\frac{1}{3}} \times \left(\frac{3x - 3s + 6}{3x - 3s - 2}\right)^{\frac{2}{3}} \times p(O_2)^{\frac{1}{4}}. \quad \ldots \quad (9)$$

Het verband tussen log K en $1/T$ is in dit geval echter *niet* lineair, waaruit volgt dat onze veronderstelling dat de vacatures geladen zijn, onjuist is.

Uit soortgelijk onderzoek verricht aan de wüstietfaze hebben we kunnen vaststellen dat in deze faze de ladingscompensatie wordt verkregen doordat de naburige roosterplaatsen van de vacature door ferrionen zijn bezet: er vormen zich dus associaten van vacatures en ionen, of wel: complexe puntdefecten. Nemen we aan dat iets dergelijks plaatsvindt in de spinelfaze, dan wordt de evenwichtsconstante:

$$K = \frac{4s}{(x - s + 2)^{\frac{1}{3}} \times (3x - 3s - 2)^{\frac{2}{3}}} \times p(O_2)^{\frac{1}{4}}. \quad (10)$$

Ook hier blijkt de grafiek van log K uitgezet tegen $1/T$ binnen de meetfout een rechte lijn te zijn.

Om te kunnen onderscheiden tussen het model van verg. (8) en dat van verg. (10), moet men beschikken over een thermobalans die nog nauwkeuriger is dan de balans waarmee de hierboven gebruikte meetresultaten zijn verkregen. We hebben inmiddels een balans ontwikkeld [5] die 10× zo nauwkeurig is en waarin automatisch gecorrigeerd wordt voor de schijnbare gewichtsveranderingen van het preparaat. Men mag verwachten dat met behulp van deze thermobalans nog meer finesses van de defectstructuur gevonden zullen kunnen worden.

De nieuwe balans is een zeer gevoelige microtorsiebalans. De automatische correctie voor schijnbare gewichtsveranderingen is verkregen door de balans uit te rusten met twee identieke ovens, één onder elke balansarm. De totale gasdruk kan gevarieerd worden tussen 10^{-6} en 1 bar, en de partiële zuurstofdruk

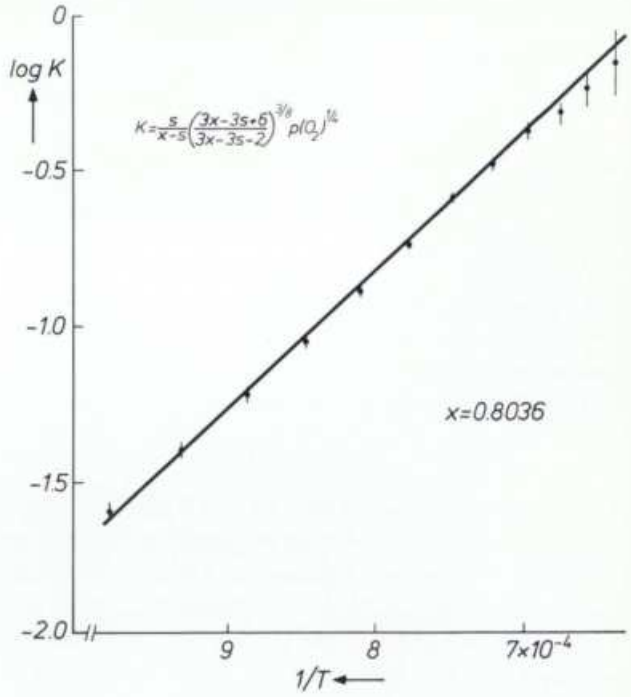


Fig. 6. Log K, berekend volgens (8), uitgezet tegen $1/T$. Binnen de meetfout is het verband lineair.

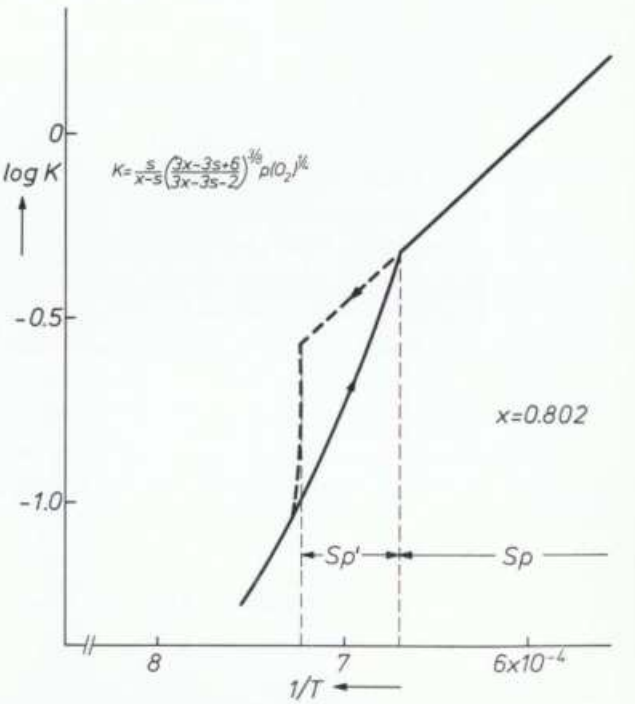


Fig. 7. Als fig. 6, maar nu voor een geval waarin bij een zekere temperatuur een tweede vaste faze verschijnt. De curve vertoont bij deze temperatuur een knik en is in het tweefazengebied niet recht. Bij afkoelen treedt de knik bij een aanmerkelijk lagere temperatuur op dan bij opwarmen, wat erop wijst dat er naast de stabiele spinelfaze *Sp* ook een metastabiele spinelfaze *Sp'* bestaat.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

tussen 10^{-20} en 1 bar. Voor het meten en regelen van de partiële zuurstofdruk is gebruik gemaakt van een ZrO_2-cel [6].

Een nauwkeuriger bepaling van het fazendiagram van de spinelfaze

De hierboven afgeleide uitdrukkingen voor K gelden alleen voor het samenstellingsgebied waarin één vaste faze voorkomt. Bij de temperatuur waarbij een tweede faze verschijnt, vertoont de curve van log K als functie van $1/T$ dan ook een knik, *fig. 7*. Bepalen we een serie curven voor verschillende waarden van x, dan kunnen we uit de ligging der knikken met grote nauwkeurigheid het verloop van de grenzen van het tweefazengebied vaststellen; er blijkt ook een *metastabiele* spinelfaze te bestaan (*fig. 8*). De grens van het spinelgebied aan de anion-deficiënte kant is niet met voldoende precisie te bepalen, maar uit de kromming van de isothermen volgt dat ook FeO en MgO, zij het in geringe mate, in de spinelfaze oplossen. In het desbetreffende samenstellingsgebied zullen *anionvacatures* voorkomen.

In de inleiding werd reeds aangestipt dat kennis van de defectstructuur van het materiaal van groot belang is voor de beheersing van sinterprocessen. Bij deze processen, waarbij massatransport door diffusie plaatsvindt, moeten zowel de kationen als de anionen zich bewegen. De reactiesnelheid wordt bepaald door de diffusiesnelheid van het langzaamste ion, dat is in het geval van het hierboven besproken systeem het zuurstofion. Bij aanwezigheid van anionvacatures kunnen de zuurstofionen zich veel sneller bewegen en verloopt het materiaaltransport tijdens het sinteren dus sneller. De verwachting dat daardoor een minder poreus sinterprodukt wordt verkregen is in ruime mate experimenteel bevestigd [7].

[5] Zie P. J. L. Reijnen en P. Roksnoer, A thermo-microbalance with automatic compensation for apparent weight changes and control of oxygen partial pressure, in: Thermal Analysis, Proc. 2nd Int. Conf., Worcester, Mass., 1968, deel 1, blz. 289-294.
[6] L. Heijne, Philips techn. T., verschijnt binnenkort.
[7] P. J. L. Reijnen, Science of Ceramics **4**, 169, 1968, en Reactivity of Solids, Proc. 6th Int. Symp., Schenectady 1968, blz. 99.

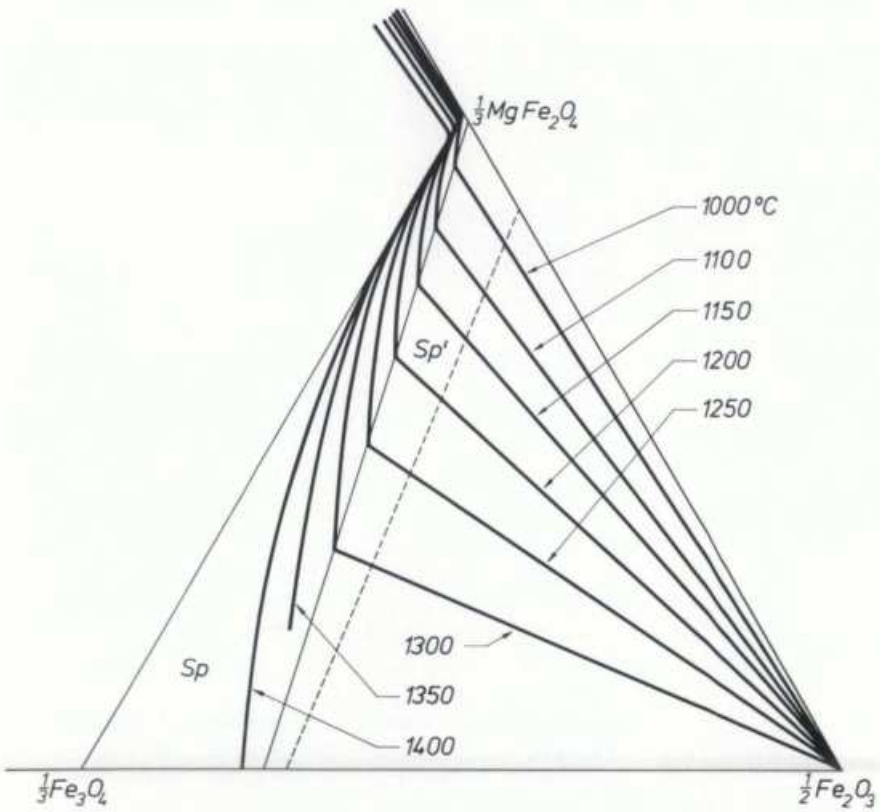


Fig. 8. Detail van het fazendiagram van het systeem MgO-FeO-Fe_2O_3 in het spinelgebied. De isothermen zijn afgeleid uit thermogrammen zoals in fig. 2. De grenzen van de stabiele en metastabiele spinelfaze (resp. de gebieden *Sp* en *Sp'*) zijn afgeleid uit de knikken in curven volgens fig. 7.

Samenvatting. Reacties en evenwichten tussen vaste stoffen en gassen kan men onderzoeken met een thermobalans, waarmee de afgifte of opname van het gas als functie van de temperatuur (en druk) wordt bepaald. Met een thermobalans is ook bij hoge temperatuur een grote nauwkeurigheid te bereiken. Als voorbeeld wordt een thermogravimetrisch onderzoek aan het systeem MgO-FeO-Fe_2O_3 behandeld, tussen 1000 en 1400 °C bij atmosferische druk uitgevoerd aan monsters van ca. 5 g, waarvan de gewichtsverandering bepaald kon worden met een nauwkeurigheid van 0,1 mg. Besproken wordt eerst de bepaling van het fazendiagram. Kennis omtrent de defectstructuur van de spinelfaze kon worden verkregen door modellen van het evenwicht tussen de spinelfaze en zuurstof aan het experiment te toetsen. Aangetoond is dat in de evenwichtsvergelijking kationvacatures dienen te worden opgenomen, die niet geladen zijn. Twee naburige ferri-ionen compenseren vermoedelijk de negatieve lading van de zuurstofionen die de kationvacatures omringen. Er is voorts een klein samenstellingsgebied aan het licht gebracht waarin anionvacatures voorkomen. Met een verbeterde microtorsiebalans kan een precisie bereikt worden die 10× zo groot is.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Recente wetenschappelijke publikaties

Deze publikaties zijn afkomstig van medewerkers van laboratoria en fabrieken, behorende tot of samenwerkende met ondernemingen van het Philipsconcern, in het bijzonder van medewerkers van de navolgende research-laboratoria:

Philips' Natuurkundig Laboratorium, Eindhoven *E*
Mullard Research Laboratories, Redhill (Surrey), Engeland *M*
Laboratoires d'Electronique et de Physique Appliquée, Limeil-Brévannes (Val-de-Marne), Frankrijk *L*
Philips Forschungslaboratorium Aachen GmbH, Weißhausstraße, 51 Aachen, Duitsland *A*
Philips Forschungslaboratorium Hamburg GmbH, Vogt-Kölln-Straße 30, 2000 Hamburg 54, Duitsland *H*
MBLE Laboratoire de Recherches, 2 avenue Van Becelaere, Brussel 17 (Boitsfort), België. *B*

Van de meeste dezer publikaties zullen binnenkort overdrukken beschikbaar zijn. Men kan deze aanvragen bij het betrokken laboratorium (zie de codeletter) of bij de Administratie van Philips' Natuurkundig Laboratorium, Eindhoven.

G. A. Acket & J. J. Scheer: Relaxation oscillations due to impact ionisation in epitaxial sheet-type Gunn oscillators.
Electronics Letters **5,** 160-161, 1969 (No. 8). *E*

G. A. Acket & M. T. Vlaardingerbroek: Physical properties of transferred-electron and avalanche microwave devices.
Festkörperprobleme **9,** 280-299, 1969. *E*

E. Allamando, E. Constant, G. Salmer (allen Faculté des Sciences de Lille) **& A. Semichon:** Propriétés hyperfréquences des diodes à avalanche. Modes d'oscillation.
Acta electronica **12,** 211-253, 1969 (No. 3). *L*

D. Andrew: The role of energetic neutrals in a magnetron sputter ion pump.
Brit. J. appl. Phys. (J. Physics D), ser. 2, **2,** 1609-1615, 1969 (No. 11). *M*

G. Arlt & K. Reiber: Ultrasonic amplification in tellurium along the *z*-axis with longitudinal and transverse electric drift fields.
Solid State Comm. **7,** 1155-1157, 1969 (No. 16). *A*

P. M. van den Avoort: Traitement des signaux dans le tube index.
Onde électr. **48,** 921-924, 1968 (No. 499). *E*

J. Basterfield: The chemical polishing of yttrium iron garnet.
Brit. J. appl. Phys. (J. Physics D), ser. 2, **2,** 1159-1161, 1969 (No. 8). *M*

V. Belevitch & Y. Kamp: Theory of monolithic crystal filters using thickness-twist vibrations.
Philips Res. Repts. **24,** 331-369, 1969 (No. 4). *B*

G. Blasse & A. Bril: Luminescence of phosphors based on host lattices ABO_4 (A is Sc, In; B is P, V, Nb).
J. chem. Phys. **50,** 2974-2980, 1969 (No. 7). *E*

G. Blasse & A. Bril: Luminescence of lead tungstate and related centres.
Philips Res. Repts. **24,** 275-283, 1969 (No. 4). *E*

R. Bleekrode: A study of the spontaneous emission from CO_2-N_2-He-H_2 laser discharges: $C^3\pi_u$-$B^3\pi_g$ emission bands of N_2.
IEEE J. Quantum Electronics **QE-5,** 57-60, 1969 (No. 2). *E*

R. Bleekrode: Near-infra-red spontaneous emission spectra of high-power CO_2 lasers.
IEEE J. Quantum Electronics **QE-5,** 297-298, 1969 (No. 6). *E*

R. Bleekrode & J. W. van der Laarse: Optical determination of Cs ground-state depletion in Cs-Ar low-pressure discharges, II. Radial and axial Cs-atom distributions.
J. appl. Phys. **40,** 2401-2403, 1969 (No. 6). *E*

P. J. C. Bogers & A. J. G. Op het Veld: A procedure for making electric contact with embedded very thin wires or other very small specimens for electrolytic polishing or etching (in Engels en Duits).
Pract. Metallogr. **6,** 503-504, 1969 (No. 8). *E*

B. Boittiaux, E. Constant, B. Kramer, M. Lefebvre, G. Vaesken (allen Faculté des Sciences de Lille) **& A. Semichon:** Propriétés générales des diodes semiconductrices en régime d'avalanche.
Acta electronica **12,** 157-200, 1969 (No. 2). *L*

P. F. Bongers, C. Haas, A. M. J. G. van Run & G. Zanmarchi: Magnetoresistance in chalcogenide spinels.
J. appl. Phys. **40,** 958-963, 1969 (No. 3). *E*

H. van den Boom: Millimeter-wave electron spin resonance spectrometer with homodyne detection.
Rev. sci. Instr. **40,** 550-555, 1969 (No. 4). *E*

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

J. van den Boomgaard: On the *P-T-x* phase diagram of the Mn-Te system.
Philips Res. Repts. **24,** 284-298, 1969 (No. 4). *E*

G. A. Bootsma: Calorimetric study of the adsorption of oxygen and gases H_xA on germanium and silicon.
Surface Sci. **15,** 340-344, 1969 (No. 2). *E*

P. B. Braun, J. Hornstra & J. I. Leenhouts: The crystal-structure determination of seven 9β,10α-steroids.
Philips Res. Repts. **24,** 427-474, 1969 (No. 5). *E*

J. C. Brice: The effect of kinetics on the stability of crystal interfaces during growth.
J. Crystal Growth **6,** 9-12, 1969 (No. 1). *M*

A. Broese van Groenou, H. G. Beljers & F. C. M. Driessens: Anisotropy and ferromagnetic resonance in $NiFe_2O_4$ with [111] texture.
J. appl. Phys. **40,** 1424-1426, 1969 (No. 3). *E*

K. H. J. Buschow & A. S. van der Goot: The crystal structure of rare-earth cobalt compounds of the type R_3Co.
J. less-common Met. **18,** 309-311, 1969 (No. 3). *E*

K. H. J. Buschow & A. S. van der Goot: Phase relations, crystal structures, and magnetic properties of erbium-iron compounds.
Phys. Stat. sol. **35,** 515-522, 1969 (No. 1). *E*

H. B. G. Casimir: De natuurwetenschappelijke achtergrond van de moderne industrie.
Akademiedagen XX (Kon. Ned. Akad. Wetensch.), 7-17, 1969. *E*

D. M. Caughey: Computer simulation of u.h.f.-transistor small-signal behaviour at high frequencies.
Electronics Letters **5,** 165-167, 1969 (No. 8). *E*

F. J. du Chatenier & J. van den Broek: Electrical properties of vapour-deposited layers of red lead monoxide.
Philips Res. Repts. **24,** 392-406, 1969 (No. 5). *E*

T. Chisholm: Some comments on the paper "An optoelectronic cold cathode for cathode-ray tubes".
Solid-State Electronics **12,** 925-926, 1969 (No. 11). *M*

W. A. Crossley, R. W. Cooper, J. L. Page & R. P. van Stapele: Faraday rotation in rare-earth iron garnets.
Phys. Rev. **181,** 896-904, 1969 (No. 2). *E, M*

H. Dammann: Computer generated quaternary phase-only holograms.
Physics Letters **29A,** 301-302, 1969 (No. 6). *H*

M. Davio & J. P. Deschamps: Classes of solutions of Boolean equations.
Philips Res. Repts. **24,** 373-378, 1969 (No. 5). *B*

R. Dessert: Applications aux hyperfréquences des diodes semiconductrices en régime d'avalanche.
Acta electronica **12,** 275-284, 1969 (No. 3). *L*

P. R. Dijksterhuis & T. Verhey (N.V. Philips Phonographische Industrie, Baarn): An electronic piano.
J. Audio Engng. Soc. **17,** 266-271, 1969 (No. 3).

G. Domburg & B. Lopes Cardozo (Institute for Perception Research, Eindhoven): Dropout. An investigation into its effects on recorded music.
Tape Recorder **11,** 312-313, 1969 (No. 8).

E. S. Eilley, J. B. Hughes & N. D. Richards: Design of an 800000 bit, 150 nsec magnetic thin film store.
Proc. Conf. on Computer Science and Technology, Manchester 1969, pp. 124-132. *M*

D. G. J. Fanshawe: A computer analysis of the circle diagram of an ultrasonic transducer.
Proc. Joint Conf. on Industrial Ultrasonics, Loughborough 1969, pp. 211-219. *M*

L. Fraiture: Limits on the load for bandpass two-ports with one dc transmission zero.
IEEE Trans. **CT-16,** 126-128, 1969 (No. 1). *B*

N. J. Freedman & L. K. Brundle: Magnetoelastic wave propagation in single-crystal lithium ferrite.
IEEE Trans. **MAG-5,** 132-136, 1969 (No. 2). *M*

S. Garbe: Photoemission from $GaAs_{1-x}P_x$, covered with low work function layers.
Phys. Stat. sol. **33,** K 87-91, 1969 (No. 2). *A*

S. Garbe: Factors affecting the photoemission from caesium oxide covered GaAs.
Solid-State Electronics **12,** 893-901, 1969 (No. 11). *A*

Y. Genin & A. Thayse: Analysis of satellite-orbit perturbations due to forces deriving from a potential.
Philips Res. Repts. **24,** 477-558, 1969 (No. 6). *B*

A. H. Gomes de Mesquita & A. Bril: The afterglow of some old and new Ce^{3+}-activated phosphors.
J. Electrochem. Soc. **116,** 871, 1969 (No. 6). *E*

G. Groh: Multiple imaging by means of holograms of correlated objects.
Appl. Optics **8,** 967-969, 1969 (No. 5). *H*

G. J. van Gurp: Flux-flow noise in a type-I superconductor.
Phys. Rev. **178,** 650-656, 1969 (No. 2). *E*

W. van Haeringen & H. de Lang (Technical University, Delft): Role of linear phase anisotropy in a Zeeman laser.
Phys. Rev. **180,** 624-625, 1969 (No. 2). *E*

P. Hansen: Temperature dependence of ferromagnetic resonance linewidth in NiZn-ferrite.
Phys. Stat. sol. **33,** K 5-8, 1969 (No. 1). *H*

J. 't Hart (Institute for Perception Research, Eindhoven): Fonetische steunpunten.
Nieuwe Taalgids **62,** 168-174, 1969 (No. 3).

J. Hasker: A simple approximate method for calculating the space-charge-limited beam current of rotation-symmetrical electron guns.
Philips Res. Repts. **24,** 249-262, 1969 (No. 4). *E*

J. Hasker: Anomalous electron velocity distributions.
Philips Res. Repts. **24,** 263-274, 1969 (No. 4). *E*

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info
11/14/2023

E. E. Havinga, M. H. van Maaren & H. Damsma: Superconductivity of compounds having the Si_2U_3-type structure.
Physics Letters **29A,** 109-110, 1969 (No. 3). *E*

E. E. Havinga, J. H. N. van Vucht & K. H. J. Buschow: Relative stability of various stacking orders in close-packed metal structures.
Philips Res. Repts. **24,** 407-426, 1969 (No. 5). *E*

K. R. Hofmann: Some aspects of Gunn oscillations in thin dielectric-loaded samples.
Electronics Letters **5,** 227-228, 1969 (No. 11). *E*

K. R. Hofmann: Gunn oscillations in thin samples with capacitive surface loading.
Electronics Letters **5,** 289-290, 1969 (No. 13). *E*

E. P. Honig: Solid phase properties and colloid chemistry.
Trans. Faraday Soc. **65,** 2248-2259, 1969 (No. 560). *E*

F. N. Hooge: $1/f$ noise is no surface effect.
Physics Letters **29A,** 139-140, 1969 (No. 3). *E*

F. N. Hooge & A. M. H. Hoppenbrouwers: Amplitude distribution of $1/f$ noise.
Physica **42,** 331-339, 1969 (No. 3). *E*

K. Hoselitz & R. D. Nolan (University of Surrey, Guildford): Anisotropy-field distributions in barium ferrite micropowders.
Brit. J. appl. Phys. (J. Physics D), ser. 2, **2,** 1625-1633, 1969 (No. 12). *M*

M. G. Hulyer: Still picture television.
Roy. Telev. Soc. J. **12,** 170-174, 1969 (No. 8). *M*

Y. Kamp & J. Neirynck: Image parameter theory for noncommensurate transmission lines.
Archiv elektr. Übertr. **23,** 129-136, 1969 (No. 3). *B*

F. M. Klaassen: A computation of the high-frequency noise quantities of a MOS-FET.
Philips Res. Repts. **24,** 559-571, 1969 (No. 6). *E*

G. Klein & K. E. Kuijk: Generating the sum or difference of two signal frequencies.
Electronic Engng. **41,** 378-380, 1969 (No. 493). *E*

J. E. Knowles: A sensitive apparatus for the measurement of induced magneto-crystalline anisotropy.
J. sci. Instr. (J. Physics E), ser. 2, **2,** 917-920, 1969 (No. 11). *M*

W. G. Koster & J. B. Peacock (Institute for Perception Research, Eindhoven): The influence of intensity of visual stimuli on the psychological refractory phase.
Acta psychol. **30,** 232-253, 1969.

P. N. Kuin: Activation analysis of the impurities in silicon carbide.
Mat. Res. Bull. **4,** S 273-283, 1969 (SiC issue). *E*

J. Liebertz & P. Quadflieg: Einkristallzüchtung und einige physikalische Eigenschaften von Langbeinit ($K_2Mg_2(SO_4)_3$).
J. Crystal Growth **6,** 109-110, 1969 (No. 1). *A*

J. Liebertz & G. Rosenstein: Untersuchungen im System $LiNbO_3$-$MgTiO_3$.
Ber. Dtsch. Keram. Ges. **46,** 548-550, 1969 (No. 10). *A*

F. A. Lootsma: Synchronisatie van verkeerslichten met behulp van lineaire programmering.
Operationele Research in Nederland, publ. Het Spectrum, Utrecht 1969 (Marka No. 104), pp. 133-148. *E*

F. A. Lootsma: Hessian matrices of penalty functions for solving constrained-optimization problems.
Philips Res. Repts. **24,** 322-330, 1969 (No. 4). *E*

F. K. Lotgering: Magnetic and electrical properties of $Co_{1-x}Cu_xRh_2S_4$.
J. Phys. Chem. Solids **30,** 1429-1434, 1969 (No. 6). *E*

G. J. Lubben: Le tube index.
Onde électr. **48,** 918-920, 1968 (No. 499). *E*

M. H. van Maaren: On the superconductivity, carrier concentration and the ionic model of Sn_4P_3 and Sn_4As_3.
Physics Letters **29A,** 293-294, 1969 (No. 6). *E*

R. J. Meijer: The Philips Stirling engine.
Ingenieur **81,** W 69-79, W 81-93, 1969 (Nos. 18, 19). *E*

R. Memming & G. Neumann: Electrochemical reduction and hydrogen evolution on germanium electrodes.
J. electroanal. Chem. **21,** 295-305, 1969 (No. 2). *H*

J. Michel, R. Petit & A. Semichon: Elaboration des diodes à avalanche.
Acta electronica **12,** 255-273, 1969 (No. 3). *L*

R. F. Mitchell, W. Willis & M. Redwood (Queen Mary College, London): Electrode interactions in acoustic surface-wave transducers.
Electronics Letters **5,** 456-457, 1969 (No. 19). *M*

N. St. J. Murphy, F. Berz & I. Flinn: Carrier mobility in silicon MOST's.
Solid-State Electronics **12,** 775-786, 1969 (No. 10). *M*

S. G. Nooteboom (Institute for Perception Research, Eindhoven): Hardop lezen als een vorm van continu taalgebruik.
Forum der Letteren **10,** 95-106, 1969.

J. M. Noothoven van Goor & H. M. G. J. Trum: Distribution coefficient and acceptor valency of tin in bismuth.
J. Phys. Chem. Solids **30,** 1636-1638, 1969 (No. 6). *E*

R. C. Oldfield, D. J. Lishman & B. Gibson: Making and testing vacuum-deposited magnetic thin-film storage elements.
Proc. Conf. on Computer Science and Technology, Manchester 1969, pp. 133-140. *M*

Digitized in Heiloo the Netherlands
Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

C. J. M. van Opdorp: Si-Ge isotype heterojunctions.
Thesis, Eindhoven 1969. *E*

C. van Opdorp & J. Vrakking: Avalanche breakdown in epitaxial SiC *p-n* junctions.
J. appl. Phys. **40,** 2320-2322, 1969 (No. 5). *E*

G. H. Plantinga (Philips Semiconductor Development Laboratories, Nijmegen): Influence of dislocations on properties of shallow diffused transistors.
IEEE Trans. **ED-16,** 394-400, 1969 (No. 4).

J. Polman: Nonlinear effects in the positive column of a modulated gas discharge.
Physics of Fluids **12,** 1128-1129, 1969 (No. 5). *E*

Eleanor D. Pyrah (Associated Semiconductor Manufacturers Ltd., Wembley, England): Negative resistance and the development of the Gunn effect oscillator.
Physics Education **4,** 333-341, 1969 (No. 6).

A. Rabenau & H. Rau: Spectral reflectance measurements on ternary compounds of copper with group VI and VII elements.
Solid State Comm. **7,** 1281-1282, 1969 (No. 17). *A*

A. Rabenau & H. Rau: Über Sulfidhalogenide des Bleis und das Pb_4SeBr_6.
Z. anorg. allgem. Chemie **369,** 295-305, 1969 (No. 3-6). *A*

O. B. P. Rikkert de Koe & P. van der Wurf: On some extensions of Nyquist's telegraph transmission theory.
Proc. IEEE **57,** 701-702, 1969 (No. 4). *E*

J. Robillard: Application de la physique de l'état solide aux systèmes d'affichage d'information.
Rev. fr. Inform. Recherche opér. **2,** No. 15, 53-84, 1968. *L*

P. J. Rommers & J. Visser: Spectrophotometric determination of micro amounts of nitrogen as indophenol.
Analyst **94,** 653-658, 1969 (No. 1121). *E*

P. Schagen & A. A. Turnbull: New approaches to photoemission at long wavelengths.
Adv. in Electronics and Electron Phys. **28A,** 393-398, 1969. *M*

W. Schilz: Helicon wave propagation in a two-component solid state plasma.
Phys. Stat. sol. **34,** 213-220, 1969 (No. 1). *H*

H. J. Schmitt & M. Lemke: Miniaturisierte Bauelemente in Streifenleitertechnik.
Int. elektron. Rdsch. **23,** 225-229, 270-272, 1969 (Nos. 9, 10). *H*

P. Schnabel: Frequency equations for *n* mechanically coupled piezoelectric resonators.
Acustica **21,** 351-357, 1969 (No. 6). *A*

G. J. Scholten: A novel type of bidirectional helix seal, the R-L seal.
Proc. 4th Int. Conf. on Fluid Sealing, Philadelphia 1969, pp 58-63. *E*

J. M. Shannon: Simple expressions for the effect of substrate doping on the gain of m.o.s.t.s.
Electronics Letters **5,** 181-182, 1969 (No. 9). *M*

A. Stegherr: Das Dreistoffsystem Zinn-Antimon-Tellur.
Thesis, Aachen 1969. *A*

A. L. N. Stevels: Phase transitions in nickel and copper selenides and tellurides.
Thesis, Groningen 1969. *E*

P. J. Strijkert: The effect of 5-fluorouracil on induced enzyme synthesis in yeast.
Biochim. biophys. Acta **182,** 262-263, 1969 (No. 1). *E*

J. S. Sussenbach & P. J. Strijkert: Arginine metabolism in Chlamydomonas reinhardi. Arginine deiminase: the first enzyme of the catabolic pathway.
FEBS Letters **3,** 166-168, 1969 (No. 3). *E*

D. G. Taylor, C. H. Petley & K. G. Freeman: Television at low light-levels by coupling an image intensifier to a "Plumbicon".
Adv. in Electronics and Electron Phys. **28B,** 837-849, 1969. *M*

F. D. Tisi: Schnelle Datenübertragung in Kanälen mit grosser Frequenzverwerfung.
Thesis, Zürich 1969. *E*

C. van Trigt: Analytically solvable problems in radiative transfer, I.
Phys. Rev. **181,** 97-114, 1969 (No. 1). *E*

P. J. Turner, P. Cartwright, M. J. Southon (allen Department of Metallurgy, University of Cambridge), **A. van Oostrom & B. W. Manley:** Use of a channelled image intensifier in the field-ion microscope.
J. sci. Instr. (J. Physics E), ser. 2, **2,** 731-733, 1969 (No. 8). *E, M*

M. Valton: Mécanismes physiques de l'avalanche dans les semiconducteurs.
Acta electronica **12,** 131-155, 1969 (No. 2). *L*

M. T. Vlaardingerbroek, P. M. Boers & G. A. Acket: High-frequency conductivity and energy relaxation of hot electrons in GaAs.
Philips Res. Repts. **24,** 379-391, 1969 (No. 5). *E*

Q. H. F. Vrehen: Absorption and dispersion in porous and anisotropic polycrystalline ferrites at microwave frequencies.
J. appl. Phys. **40,** 1849-1860, 1969 (No. 4). *E*

W. L. Wanmaker & J. W. ter Vrugt (Philips Lighting Division, Eindhoven): Luminescence of gallates.
J. Electrochem. Soc. **116,** 871-872, 1969 (No. 6).

J. D. Wasscher: Electrical transport phenomena in MnTe, an antiferromagnetic semiconductor.
Thesis, Eindhoven 1969. *E*

J. H. Waszink & J. Polman: Cesium depletion in the positive column of Cs-Ar discharges.
J. appl. Phys. **40,** 2403-2408, 1969 (No. 6). *E*

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

K. Weiss: Untersuchungen an kubischem Kupfer(I)-sulfid (Digenit), I. Fehlordnung in Digenit, II. Nichtstationäre elektrische Flüsse.
Berichte Bunsenges. phys. Chemie **73,** 338-344, 344-348, 1969 (No. 4). *E*

R. M. G. Wijnhoven: Attenuationless voltage or current propagation on a line with ohmic losses.
IEEE Trans. **C-18,** 280-281, 1969 (No. 3). *E*

W. J. Witteman: Mode competition in lasers with homogeneous line broadening.
IEEE J. Quantum Electronics **QE-5,** 92-97, 1969 (No. 2). *E*

S. Yoshioka (Research Laboratory Matsushita Electronics Corp., Takatsuki, Osaka, Japan): Investigation of the chemical properties of stain films on silicon by means of infra-red spectroscopy and omegatron mass analysis.
Philips Res. Repts. **24,** 299-321, 1969 (No. 4).

G. Zanmarchi & P. F. Bongers: Infra-red Faraday rotation in ferrites.
J. appl. Phys. **40,** 1230-1231, 1969 (No. 3). *E*

H. Zijlstra & F. F. Westendorp: Influence of hydrogen on the magnetic properties of $SmCo_5$.
Solid State Comm. **7,** 857-859, 1969 (No. 12). *E*

Inhoud van Philips Telecommunication Review **28,** No. 4, 1969:

C. J. Krayenbrink: AIRLORD Mk2, pre-departure handling system for airports (pp. 161-173).
H. J. Spoon: The telegraph input-output multiplexer for the DS 714 message switching system (pp. 175-183).
E. A. Limberopoulos: Two new message switching centres for the SITA network (pp. 184-187).

Inhoud van Mullard Technical Communications **11,** No. 101, 1969:

J. C. Beckley: Integrated sound intercarrier amplifier and transformerless audio stage for colour tv receiver (pp. 2-5).
B. J. M. Overgoor: Matched field effect transistors in the differential input stage of an operational amplifier (pp. 6-16).
D. R. Hyde: Economical 3 W record-player amplifier (pp. 17-20).
A. Garskamp: Portable a.m./f.m. radio receiver (pp. 21-24).

Inhoud van Mullard Technical Communications **11,** No. 102, 1969:

D. J. King: Monochrome tv power supplies for 117 and 220 V mains inputs (pp. 26-28).
D. J. King: Thyristor power supplies for colour tv receivers (pp. 29-34).
M. C. Gander & L. Hampson: Luminance, colour-difference output, synchronising and a.g.c. circuits (pp. 35-45).
S. W. Gray: Thermostatic fan control for central heating (pp. 46-48).

Inhoud van Valvo Berichte **15,** No. 2, 1969:

A. Petersen: Wirbelstromkupplungen und Dämpfungssysteme mit Permanentmagneten (pp. 41-57).
E. Drossel & G. Samow: Ferroxdure SP 130, ein anisotroper kunststoffgebundener Bariumferrit-Werkstoff (pp. 58-63).
J. Koch, K. Ruschmeyer & H. Schwang: Temperaturabhängigkeit der magnetischen Induktion von Ferroxdure (pp. 64-77).

Inhoud van Valvo Berichte **15,** No. 3, 1969:

P. G. J. Barten: Theorie des Moiré bei Schattenmasken-Farbbildröhren (pp. 79-92).
C. J. Boers: Hochspannungserzeugung aus dem Zeilenrücklauf-Impuls (pp. 93-108).

Jaargang 31, 1970, no. 1 blz. 1-36 Verschenen 19 juni 1970

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!